


Liimapuupalkkisillan rakentamisvaiheet

Case: Matinpuronsilta

Antti Sirén



Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

SIRÉN ANTTI:

Liimapuupalkkisillan rakentamisvaiheet
Case: Matinpuronsilta

Opinnäytetyö 63 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2018

Puun käyttö siltojen päärakennusmateriaalina on ollut vähäistä Suomessa ja vasta viime vuosina sen käyttöä on alettu lisäämään. Tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään yleisimpiin puusiltatyyppeihin sekä puun käyttöön siltarakentamisessa ja niille asetettuihin vaatimuksiin.

Tämän työn tilaaja, Graniittirakennus Kallio Oy, rakensi Espoon Matinkylään yksiaukkoisen liimapuupalkkisillan, jonka kansirakenteena toimi 75 mm kertopuulevy. Kertopuuta ei ole aikaisemmin käytetty Suomessa sillan kannen rakenteena. Silta toimii kevyen liikenteen siltana, ja sillä on kokonaispituutta 21,6 m ja sen hyötyleveys on 4,0 m. Tässä työssä dokumentoitiin Matinpuronsillan rakennusvaiheet ja selvitettiin rakentamisen kannalta ongelmallisimmat työvaiheet. Ratkaisuna näihin laadittiin yksityiskohtainen asennus- ja kasaushoje yksiaukkoiselle liimapuupalkkisillalle. Opinnäytetyössä on myös haastateltu Matinpuronsillan suunnittelijoita siltaratkaisuun päättämisestä ja sen ongelmakohdista.

Matinpuron silta rakennettiin erillisellä työmaa-alueella, minkä jälkeen se kuljetettiin kilometrin päähän sillan lopulliselle paikalle. Kaiteet ja pintakerrokset tehtiin valmiiksi vasta sillan ollessa oikealla paikallaan. Sillan suurimpia ongelmia kasaushoheissa olivat palkkien saaminen oikeaan korkoon, kannen ruuvaus paikalleen ja se, ettei rakenteiden toleranssiheitoja ollut otettu riittävästi huomioon suunniteltaessa.

Matinpuronsillan lopullinen kokonaishinta oli hieman yli 200 000 €. Sillan suurin osakustannus tuli kaiteista jotka, maksoivat kolmanneksen koko sillan hinnasta. Suurimpana yksittäisenä yllätyksenä oli aurausparrujen hinta, joka oli yli neljäkymmentä euroa metriltä. Vastaavanlaisen sillan rakentaminen tulevaisuudessa kannattaa tehdä suoraan paikoilleen kasattuna, mikäli ympäristö sen sallii.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

SIRÉN ANTTI:
Building Steps of a Glulam Beam Bridge
Case: Matinpuronsilta

Bachelor's thesis 63 pages, appendices 6 pages
May 2018

This thesis was made for Graniittirakennus Kallio Ltd. Use of wood in building bridges has been low but lately there have been signs that it is increasing. The theoretical part of this thesis focuses on the most common bridge types, what kind of wood is used in building bridges and the requirements set for the materials.

Graniittirakennus Kallio Ltd built a single span laminated beam bridge in Matinkylä, Espoo. The deck of the bridge was made of two pieces of 75 mm LVL slabs. The bridge is a pedestrian bridge and its overall length is 21,6 meters. Use of the LVL slabs on bridge decks is very rare and in Finland it has never been used before. In this thesis, the building phases of the bridge were documented to help building of similar bridges.

Matinpuronsilta was built one kilometer away from its final place and when it was ready it was transferred to a separate site. Getting the laminated beams on the right level and screwing the deck in place caused some problems, and not enough attention was paid to tolerances in the planning stage. The total price of Matinpuronsilta was a bit over 200 000 €. One third of the bridge price went to the railings and one big surprise was the price of plowing covers which was over 40 € per meter. Building a similar kind of bridge in the future would be easier if construction was done in the final place, provided that the environment allows it.

As result of this thesis, a guide for building a glulam bridge was produced.

Key words: wooden bridge, laminated beam, building instruction

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	SILLAT SUOMESSA	8
2.1	Päärakennusmateriaalit	8
3	PUUSILLAT	13
3.1	Puusiltatyypit	13
3.1.1	Palkkisilta.....	13
3.1.2	Ansassillat	14
3.1.3	Kaarisilta	15
3.1.4	Muut sillat	16
3.1.5	Versowood tyyppihyväksytyt sillat.....	16
3.2	Puusiltojen materiaalivaatimukset	19
3.2.1	Käyttöluokat	19
3.2.2	Sahatavara	20
3.2.3	Liimapuu	21
3.2.4	Viilupuu (LVL)	22
3.2.5	Muut materiaalivaatimukset.....	23
4	MATINPURONSILTA	24
4.1	Siltatyyppiin päätyminen	25
4.2	Sillan perustukset.....	25
4.3	Palkkirakenne.....	26
4.4	Kansirakenne	27
4.5	Kannen eristys ja pintarakenne	28
4.6	Kaiteet ja muut varusteet	28
5	MATINPURONSILLAN RAKENTAMINEN	31
5.1	Rakennusvaiheet	31
5.1.1	Valmistelut ja pelkkatason rakentaminen	31
5.1.2	Palkkien asennus	34
5.1.3	Kansilevyjen asennus	39
5.1.4	Maanrakennustyöt	44
5.1.5	Sillan kuljetus ja nosto	46
5.1.6	Viimeistelytyöt	50
6	POHDINTA.....	52
	LÄHTEET	55
	LIITTEET	58
	Liite 1 Matinpuronsillan pituus- ja poikkileikkauskuvat	58
	Liite 2 Suunnitelma liimapuupalkkien korotuksista.....	59

Liite 3. Yksiaukkoisen liimapuupalkkisillan kasaushje (silta kuljetetaan lopulliselle paikalle myöhemmin)	60
Liite 4. Yksiaukkoisen liimapuupalkkisillan kasaushje paikoilleen	63

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

KBVA	Kumibitumivaluasfaltti
LVL	Laminated veneer lumber, viilupuu
Pelkka	Sahatuote, josta on poistettu kaksi sivua
GL	Liimapuu
Käyttöluokka	Lujuusarvojen jaottelua, sekä määritellyissä ympäristöolosuhteissa syntyviä muodonmuutoksia varten luotu luokkajärjestelmä

1 JOHDANTO

Suomessa puusiltojen rakentaminen voitaisiin moninkertaistaa muista Pohjoismaista saatujen kokemusten perusteella, sillä niillä on todettu olevan erittäin kilpailukykyinen elin-
kaarikustannus muihin materiaaleihin verrattuna. Ruotsissa ja Norjassa puusiltojen raken-
taminen on huomattavasti yleisempää verrattuna Suomeen. (Puuinfo, puusillat 2017.)

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena tutkia puun hyviä ja huonoja puolia sen ollessa
päärakennusmateriaalina silloissa, sekä tarkastella yleisimpiä puusiltatyyppejä, rakenteita
sekä niille asetettuja vaatimuksia. Opinnäytetyössä tutustutaan Espoon Matinkylään ra-
kennettavaan Matinpuronsiltaan, josta tehdään raportointi Graniittirakennus Kallio Oy:lle
sillan eri rakennusvaiheista sekä pohditaan mahdollisia parannusehdotuksia tulevaisuutta
varten. Siltä pohjalta laaditaan myös ns. kasaushje vastaavanlaiselle sillalle paikoilleen
kasattuna sekä erikseen kasattuna. Työssä keskitytään sillan puurakenteiden kasausvai-
heisiin.

Matinpuronsilta on ensimmäinen Suomeen rakennettava yksiaukkoinen liimapuupalkki-
silta, jossa käytetään kansimateriaalina 75 mm Kerto-Q kertopuulevyä. Sillan ainutlaa-
tuisuuden takia sillan kasaamisen eri vaiheista tarvitsee saada lisätietoja kehitysideoita
mahdollisten vastaavanlaisten siltojen rakentamista varten.

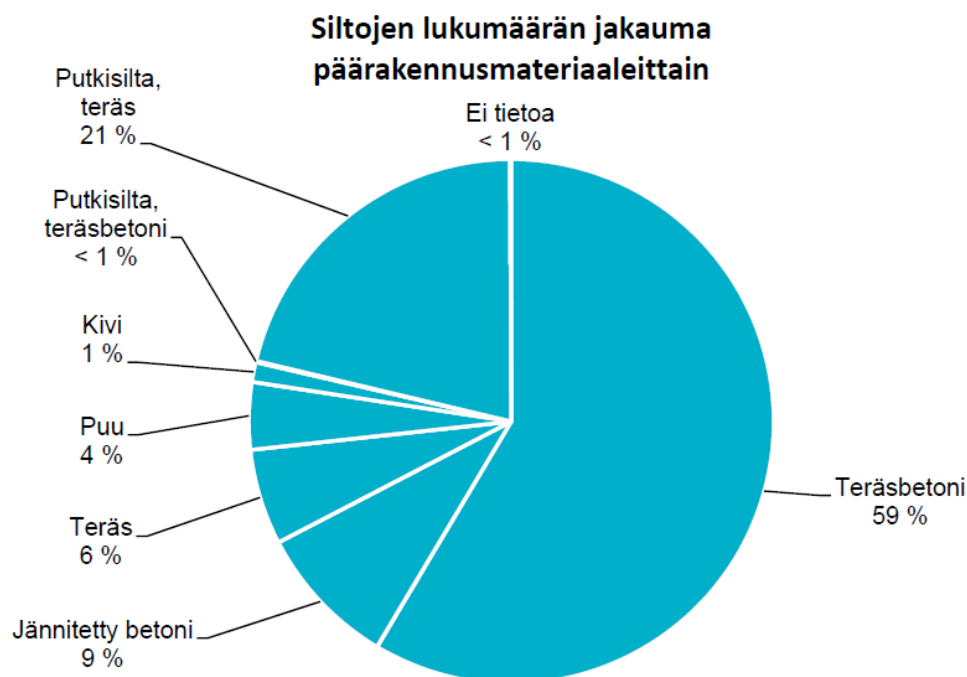
Ensimmäiseksi työssä käsitellään siltojen päärakennusmateriaaleja sekä yleisimpiä silta-
tyyppejä, jonka jälkeen keskitytään enemmän puurakentamiseen silloissa ja niille asetet-
tuihin vaatimuksiin. Näiden tarkoituksena on pohjustaa puun käyttöä siltarakentamisessa,
jonka jälkeen siirrytään tutkimaan Matinpuronsillan eri rakennusvaiheita. Lopulta mieti-
tään kehitysehdotuksia vastaavanlaiselle sillalle ja tehdään niiden perusteella kasaushje
vastaavanlaiselle sillalle.

2 SILLAT SUOMESSA

Tässä osiossa käydään läpi Suomen siltojen eri päärakennusmateriaaleja ja tarkastellaan niiden osuutta Suomeen rakennetuista silloista.

2.1 Päärakennusmateriaalit

Suomen maanteilla on tällä hetkellä noin 14 200 siltaa (ELY-keskus, sillat 2017). Yleisimpänä päärakennusmateriaalina silloissa on käytetty teräsbetonia mitä on käytetty noin 59 % Suomen silloissa. Muita silloissa käytettyjä materiaaleja ovat teräs 6 %, puu 4 % ja kivi 1 %, mitkä ovat selvästi harvinaisempi kuin teräsbetoni (kuvio 1).



KUVIO 1. Siltojen lukumäärän jakauma päärakennusmateriaaleittain (Liikenneviraston sillat 2016, 45)

Teräsbetoni on edullisuutensa ja monipuolisuuden takia noussut siltojen käytetyimmäksi rakennusmateriaaliksi. Lähes jokaisessa sillassa on ainakin alusrakenteet tehty betonista. Betoni itsessään on painava materiaali, jossa on pieni vetolujuus ja suuri puristuslujuus. Sille tulevaa vetolujuutta saadaan pienennettyä lisäämällä raudoitusta tai jännittämällä rakenne teräksellä. Koko silta tai osa siitä voidaan myös rakentaa teräsbetonielementeistä. (Liikennevirasto, sillat ja ympäristö 2013, 91-92.)

Pitkien jännemittojen silloissa käytetään usein materiaalina terästä suuren lujuutensa ja suhteellisen keveytensä takia. Teräkselle on ominaista yhtä suuri veto- ja puristuslujuus, joka lisää teräksen käyttöä eri tavoin rasitetuissa rakenteissa. Teräs on ruostesuojattava maalaamalla huonon korroosioherkkyyden takia tai käytettävä säänkestävää terästä. Maalaaminen toisaalta tuo sillan ulkonäköön liittyvän edun, jolloin väri pystytään valitsemaan oman halun mukaan. (Liikennevirasto, sillat ja ympäristö 2013, 93.)

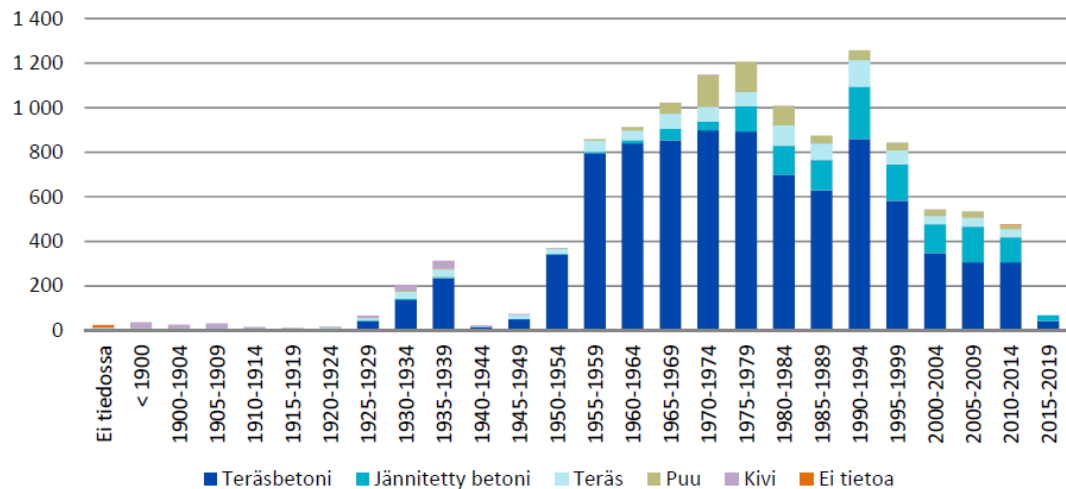
Kiven käyttö sillan päärakennusmateriaalina on jäänyt nykyään lopullisesti sen korkean hinnan ja pienen vetolujuuden takia. Tämän vuoksi kivisilloissa käytetään holvirakennetta, jossa syntyy vain puristusjännitystä. Kivi on myös erittäin työläs vaativa materiaali työstettävyyden suhteen, mikä on myös osa syy sen vähäiseen käyttöön. (Liikennevirasto, Sillat ja ympäristö 2013, 95.) Historiallisissa kohteissa kiven käyttöä kuitenkin vielä jonkin verran on, esimerkiksi Espoon tuomiokirkon läheisyyteen tehtiin kiviholvisilta 2008 (kuva 1).



KUVA 1. Kannusilta, Espoo (Palin Granit 2017)

Suomessa puu oli 1800-luvulta aina 1900-luvun alkuun asti suosituin rakennusmateriaali suurten siltojen rakentamisessa yhdessä luonnonkiven kanssa. 1920-1930 noin 70 % valtion haltuun ottamista silloista oli puisia ja vuonna 1927 Suomessa rakennettiin vielä 40 puusiltaa vuodessa. (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 3.) 1930-luvulta eteenpäin teräsbetonin ja jännitetyn betonin käyttö silloissa syrjäytti nopeasti puun päärakennusmateriaalina. Puuta käytettiin vielä jonkin verran 1960-1980 luvuilla kevyenliikenteensilloissa, mutta

sen käyttö pienentyi hiljalleen, eikä sitä nykypäivänä käytetä enää kovinkaan paljoa. (Liikenneviraston sillat 2016, 40.) Puun käyttämiseksi päärakennusmateriaalina ei näy vielä erityisen suurta lisääntymistä ainakaan lähitulevaisuudessa (kuvio 2).



KUVIO 2. Varsinaisten siltojen päällysrakenteen ikäjakauma päärakennusmateriaaleittain, kpl (Liikenneviraston, sillat 2016, 40)

Puun keveyden ansiosta puusillat voidaan valmistaa tehtaalla suurilta osin, kuljettaa ja asentaa osina sekä lohkoina paikoilleen kohteessa. Puun ominaisuudet mahdollistavat asennuksen hankaliin ylityksiin, sillä sillan kannen asennus onnistuu jopa yhdessä osassa. Puussa käytetyt liitostekniikat ovat yksinkertaisia ja ne nopeuttavat osien asennusta, sekä helpottavat talvirakentamista. Asennuksen jälkeen puusilta on vesieristystä ja pinnoitusta vaille valmis liikenteelle. (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 3.) Puu ei myöskään vaadi mitään massiivisia perustoja ja se on siitä huolimatta erittäin kantokykyinen (Puuinfo, Puusilta maisemassa 2017). Nykyään puusiltojen kannatinrakenteina käytetään lähes aina kyllästettyjä liimapuupalkkeja (Liikennevirasto, sillat ja ympäristö 2013, 94).

Puuta on myös ollut aina helppo saada Suomesta. Se on ollut tuttu materiaali aina ja sen työstettävyyden ja lyhyt rakennusaika jokaisessa sääolosuhteissa on hyvä. Lisäksi puun lujuus/paino-suhte on lähes samaa luokkaa teräksen kanssa. Puun huonoja puolia ovat lahoaminen, halkeilu, herkkyys kosteutta ja auringon säteilyä kohtaan sekä heikko kestävyys mekaanista kulutusta vastaan. (Liikennevirasto, sillat ja ympäristö 2013, 94.)

Puu on myös joustava ja erittäin kaunis materiaali, esimerkkinä Leonardo da Vinci-silta Norjassa (kuva 2). Rohkeampia muotoja saa tehtyä käyttämällä esimerkiksi liimapuukaa-ria sekä riippu- tai tukiansaita. Näin siltoihin saadaan parempi ulkonäkö kuin käyttämällä vain suoraa palkkia. (Liikennevirasto, sillat ja ympäristö 2013, 94)



KUVA 2. Leonardo da Vinci silta Norjassa (North Coast Cafe 2012)

Puun käytöstä silloissa on saatu erittäin hyviä kokemuksia muissa Pohjoismaissa. Se on uusiutuva materiaali ja puu on rakennus- ja elinkaarikustannuksiltaan kilpailukykyinen. (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 7.) Hyvin suunnitellun ja rakennetun puusillan kestävyys on verrattavissa betonisiltaan. Puusillat suunnitellaan kestäväksi 50 vuotta, mutta säännöllisillä tarkastuksilla sillalle saadaan useita lisävuosia. Pintarakenteiden tarkastuksia ja korjauksia suositellaan tehtäväksi viiden vuoden välein. (Puuinfo, Puusilta maisemassa 2017.) Muissa pohjoismaissa puun käyttö silloissa on huomattavasti yleisempää. Esimerkiksi Norjassa rakennettavista silloista noin 10 % on puusiltoja ja Ruotsissa noin 20 %. Suomessa on noin 900 puurakenteista siltaa ja vuosina 2010–2014 rakennettiin Suomeen 584 siltaa josta vai 17 oli puurakenteisia. (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 7.)

Suomessa puusiltojen vähäisen rakentamisen syinä ovat usein tilaajien ennakkoluulot puuta kohtaan. Isoissa hankkeissa halutaan usein riskittömiä standardiratkaisuja, mikä johtaa useimmiten betonisillan valintaan. Ne mielletään kestävyydeltään, hinnaltaan ja käyttöiältään usein puusiltaa paremmaksi vaihtoehdoksi, vaikka näin ei aina ole. (Puuinfo, Puusillat markkinoille, 2013.)

Espoon kaupungilla on käynnissä ohjelma, jolla edistetään puurakentamista. Espooseen on rakennettu lähivuosina yhdestä kolmeen siltaa vuodessa ja vuoden 2017 aikana oli toteutuksessa jopa kuusi siltaa. Puusillat on pääasiassa rakennettu puistoraiteille, ulkoilu-reiteille tai pienien vesistöjen ylitykseen. Etuna on pidetty niiden nopeaa asennettavuutta. (Puuinfo, Puusillat markkinoille, 2013.) Myös Tampereen kaupunki on tehnyt laajan puurakentamisen yhteistyösopimuksen Tampereen teknillisen yliopiston, työ- ja elinkeino-ministeriön, Tampereen ammattikorkeakoulun ja Metsäntutkimuslaitoksen kanssa vuonna 2014. Tavoitteena tällä sopimuksella on edistää erityisesti Tampereella puurakentamista ja vähähiilisyys-tähtäävää energia ja resurssitehokasta rakentamista sekä puun laaja-alaista käyttöä. (Tampere.fi, Tampere mukaan puurakentamisen yhteistyöhön, 2014.) Tästä hyvänä esimerkkinä on Suomen suurimmaksi puukaupunkiympäristöksi rakentuva Vuoreksen alue, jossa puuta on käytetty myös silloissa (kuva 3).



Kuva 3. Tampereen Vuoreksessa sijaitseva puinen Tervassilta (woodarchitecture, Marta de Abreu, Hartman)

3 PUUSILLAT

Kolmannessa kappaleessa käydään läpi yleisimpiä puusiltatyyppejä. Puusillan tyyppi valitaan käyttökohteen ja halutun ulkonäön perusteella.

3.1 Puusiltatyypit

Puusiltatyyppejä löytyy useita eri näköisiä, kokoisia ja puun joustavat ominaisuudet mahdollistavat sen käyttämisen monissa erilaisissa kohteissa.

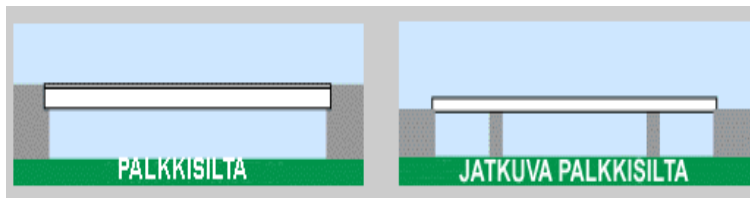
3.1.1 Palkkisilta

Palkkisilta on yleisimmin käytetty siltarakenne, jonka kantava rakenne muodostuu pituussuuntaisista liimapuupalkeista, jonka päälle kansirakenne tehdään (kuva 4). Taloudellisimpina käyttöalueina pidetään 4,0–20 m jännevälejä ajoneuvoliikenteen silloissa ja 3,0–30 m kevyenliikenteen silloissa. (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 4.)



KUVA 4. Palkkisilta (Versowood puusillat 2017)

Palkkisiltoja on muutamaa eri tyyppiä: palkkisilta, jatkuva palkkisilta sekä ulokepalkkisilta (kuva 5) (Torsti.pp, palkkisillat).



Kuva 5 Eri tyyppejä palkkisilloja. (Torsti.pp, palkkisillat)

Palkkisillan tavanomaisimmassa tyypissä palkki on tuettu molemmista päistä ja se kantaa silta-aukon yli. Jatkuvassa palkkisillassa kansi jatkuu yhtenäisenä useamman aukon yli. Ulokepalkkisillassa palkki jätetään tukematta päistä ja se tuetaan varresta niin, että palkin päät ulottuvat tukien ohitse. (Torsti.pp, palkkisillat.)

3.1.2 Ansassillat

Ansassiltarakenne oli yleinen ennen liimapuun tuloa. Siinä ylä- tai alapuolella oleva vino ansa tukee sillankantta. Sillan alikulkukorkeuden ollessa tarpeeksi iso on edullisempaa tehdä tukiansassilta, jossa itse ansa sijaitsee sillankannen alapuolella, kun taas sillan alikulkukorkeuden ollessa liian pieni on järkevämpää tehdä sillankannen yläpuolelle riippuansas, mikä kannattaa kantta. (Torsti.pp, palkkisillat.) Nykyään ansassiltaa käytetään lähinnä erikoisemmissa kohteissa sekä museorakenteissa (kuva 6). (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 4.)



KUVA 6. Etelänselän isosilta (Suomitour 2006)

Riippuansassiltaa käytetään poikittaisjäykkyytensä ansiosta yleensä suhteellisen kapeilla silloilla, joiden pituus on noin 15-50 m (kuva 7) (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 4).



KUVA 7. Vihantasalmensilta valtatiellä 5 on pinta-alaltaan maailman suurin valtatiellä oleva puusilta (Tuomo Virtanen 2017)

3.1.3 Kaarisilta

Kaaren muotoon liimattu liimapuu on kaarisillan kantava rakenne ja kaarisillan jännemitta voi olla jopa yli 100 m. Kaaren muodossa olevia liimapuita voi olla kaksi tai useampia (kuva 8). Liimapuut voivat leikata kansilinjaa osittain tai olla myös kokonaan kannen yläpuolella. (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 4.)



KUVA 8. Kurjenmäen kaarisilta (Versowood puusillat 2017)

3.1.4 Muut sillat

Liittorakennesillat ovat puusiltojen uusinta tekniikkaa. Kyseisessä siltatyypissä puupalkit ja betonikansi liitetään erikoistartunta-elinten välityksellä yhdessä toimivaksi rakenteeksi. (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 4.)

Katettu silta sopii erinomaisesti kevyen liikenteen käyttöön (kuva 9). Niissä yleisin rakennetyyppi on ristikkosilta, missä ristikon alapaarten varassa on ajorata ja yläpaarten varassa katto. Jännemitaltaan katetut sillat voivat olla jopa 100 m pitkiä. (Puuinfo, puusiltaesite 2017, 4.)



KUVA 9. Katettu Poukkasilta (Wikipedia, Poukkasilta)

3.1.5 Versowood tyyppihyväksytyt sillat

Suomalaiselta sahatavaran tuottajalta ja jalostajalta Versowoodilta löytyy puisia tyyppihyväksytyjä siltoja, jotka soveltuvat suoraan tiesilloiksi ja valtionavustusta saaviksi yksityistiesilloiksi. Sillat on suunniteltu eurokoodien mukaisesti poikittaisjännitettynä ja niistä löytyy valmiit suunnitelmat puisen kansirakenteen osalta. (Versowood, Tyyppihyväksytyt sillat 2017.)

Sillat tai siltaelementit toimitetaan tilaajan kanssa sovitussa valmiusasteessa ja jopa yli 30 m pitkät puusillat voidaan valmistaa täysin valmiiksi tehtaalla ja nostaa suoraan valmiille perustuksille. (Versowood, Tyyppihyväksytyt sillat 2017.)

Ajoneuvoliikenteenpalkkisilta on suunniteltu käyttöluokassa kaksi (kuva 10). Sen hyötyleveydet ovat 4,0–9,0 m ja vakioleveydet 4,5 m ja 6,5 m. Sillalta löytyy jännemittaa kuudesta metristä aina 32 metriin kahden metrin jaolla. Päällyste on 30 mm asfaltti tai puu ja kaiteet ovat H2-törmäyskestävyysluokan teräskaiteita. (Versowood, Tyyppihyväksytyt sillat 2017.)



KUVA 10. Versowoodin tyyppihyväksytty ajoneuvoliikenteen palkkisilta (Versowood, tyyppihyväksytyt sillat 2017)

Ajoneuvoliikenteen laattasilta on suunniteltu käyttöluokissa 2 ja 3 (kuva 11). Hyötyleveys voidaan valita vapaasti haluttuun leveyteen, jolloin leveys oltava $\geq 3,0$ m ja jännemittaa on saatavana 6,0–30,0 m kahden metrin jaolla. Päällistys voidaan tehdä 30 mm KBVA, 35 mm asfalttibetonilla tai puupinnoituksella. Sillan kaiteet ovat H2-luokan teräskaiteita. (Versowood, Tyyppihyväksytyt sillat 2017.)



KUVA 11. Versowoodin tyyppihyväksytty ajoneuvoliikenteen laattasilta (Versowood, tyyppihyväksytyt sillat 2017)

Kevyenliikenteenpalkkisilta on suunniteltu käyttöluokissa 2 ja 3 ja se täyttää värähtelyn osalta siltaluokat 3 ja 4 (kuva 12). Hyötyleveyttä sillalla on 3,0–5,0 m puolen metrin jaolla. Kevyenliikenteen siltaa saa hieman pidemmällä jännemitalla kuin laatta- ja palkkisiltaa, sillä sen jännemitta on maksimissaan 38 m ja minimissään 6,0 m. Päällysteenä on puupinnoitus tai 30 mm KBVA ja kaiteena toimii puukaide, joka on mitoitettu 5 kN törmäyskuormalla. (Versowood, Tyyppihyväksytyt sillat 2017.)



KUVA 12. Versowoodin tyyppihyväksytty kevyenliikenteen silta (Versowood, tyyppihyväksytyt sillat 2017)

Alkuvuodesta 2017 Liikennevirasto myönsi Versowoodille Hyvä idea -tunnustuksen elementtityyppisiltojen kehitystyöstä (Puuinfo, Puusilta maisemassa 2017).

3.2 Puusiltojen materiaaliveaavimukset

Puusiltojen suunnittelussa käytetään jokaisen tuotteen standardien koetuloksista saatuja jäykkyys-, sekä lujuusarvoja (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 19).

3.2.1 Käyttöluokat

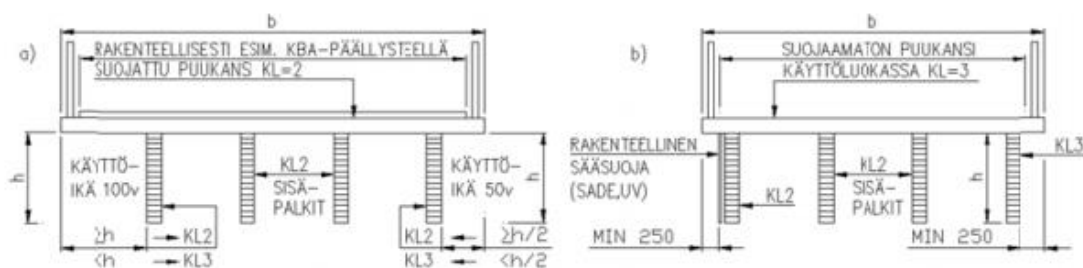
Puurakenteet jaotellaan käyttöluokkiin 1-3. Käyttöluokkajärjestelmä on tarkoitettu lujuusarvojen jaottelua varten sekä määritellyissä ympäristöolosuhteissa syntyvän muodonmuutoksien laskemista varten. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 14.)

Käyttöluokassa 1 materiaalien kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja ilman suhteellinen kosteus on yli 65% vain satunnaisina viikkoina vuodessa. Tähän luokkaan kuuluu puurakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavanlaisissa olosuhteissa. Myös lämpöeristekerroksessa olevat palkit ja rakenteet, joiden vetopuoli on lämpöeristeen sisällä, luetaan käyttöluokkaan 1. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 14.)

Käyttöluokassa 2 materiaalien kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja ilman suhteellinen kosteus on yli 85% vain satunnaisina viikkoina vuodessa. Siihen luetaan puurakenteet, jotka ovat kuivassa ulkoilmassa, joka on hyvin tuuletettu ja kastuminen on hyvin suojattu. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 14.)

Käyttöluokassa 3 ilmasto-olosuhteet ovat vaativammat kuin luokassa 2. Tähän luokkaan kuuluu säälle alttiit, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena olevat puurakenteet, kuten liimapuiset elementtikannet, puukaiteet ja suojaamattomat syrjälankukaiteet. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 14.)

Siltojen puurakenteet ovat 2 ja 3 käyttöluokassa. Kreosootilla kyllästettyä puuta voidaan käyttää ulkoilmassa suojaamattomanakin käyttöluokassa 2. 100-vuoden suunnittelukäyttöön käyttöluokassa 2 vaaditaan, että kuvan 13a reunimmaisista palkkeista suojaavan kansilokkeen pituus on $> h$ tai että palkin ulkopinta suojataan rakenteellisesti esim. helposti vaihdettavalla liimapuulevyllä kuvan 13b periaatteella (kuva 13). (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 14.)



Kuva 13. Puukantinen liimapuupalkkisilta (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 15)

3.2.2 Sahatavara

Sahatavaralle on asetettu standardien SFS-EN 14081-1, sekä SFS-EN mukaisia vaatimuksia ja sormijatkosten osalta on noudatettava SFS-EN 385 standardin vaatimuksia. Siltojen kantavissa rakenteissa on käytettävä vähintään lujuusluokan C30 sahatavaraa ja sekundäärirakenteissa on oltava C24 sahatavaraa. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 20.)

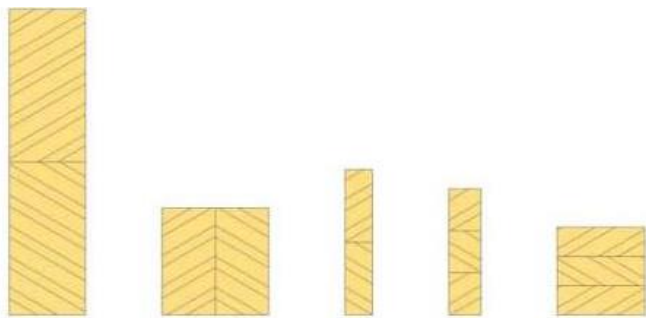
Yleisimmin käytettyjen sahatavara luokkien lujuusluokkia vastaavat ominais- ja jäykkyyksilujuudet löytyvät taulukosta 1.

Taulukko 1 Yleisimmin käytettyjen sahatavaroiden ja LVL-tuotteiden materiaaliominaisuudet (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 24)

Lujuus Jäykkyys Tiheys	Koodi	Sahattu havupuutavara			Kertopuu (LVL)		
		C24	C30	C35	Kerto- S	Kerto- T	Kerto-Q 27≤t≤69
Lujuuksien ominaisarvot [N/mm²]							
Taivutus	$f_{m,k}$	24,0	30,0	35,0	44	27	32
Veto II β	$f_{t,0,k}$	14,0	18,0	21,0	35	24	26
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,8	0,5	6,0
Puristus II β	$f_{c,0,k}$	21,0	23,0	25,0	35	26	26
	$f_{c,90,k}$	2,5	2,7	2,8	6	4	9
Leikkaus	$f_{v,k}$	4,0	4,0	4,0	4,1	2,4	4,5
Jäykkyyksien ominaisarvot [N/mm²]							
Kimmokerroin	E_{mean}	11000	12000	13000	13800	10000	10500
	$E_{0,05}$	7400	8000	8700	11600	8800	8800
	$E_{90,mean}$	370	400	430			
Liukukerroin	G_{mean}	690	750	810	600	400	600
	$G_{0,05}$	460	500	540	400	300	400
Tiheyksien ominais- ja keskiarvot [kg/m³]							
Ominaistiheys	ρ_K	350	380	400	480	410	480
Keskiarvotiheys	ρ_{mean}	420	460	480	510	440	510

3.2.3 Liimapuu

Liimapuu on lamelleista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote (kuva 14). Siinä on aina vähintään kaksi enintään 45 mm paksua sahatavaralamellia, joiden syysuunta on liimapuun pituussuuntainen (Puuinfo, Liimapuu 2017).



Kuva 14. Esimerkkejä liimatuista sahatavaruotteista (Puuinfo, Liimapuu 2017)

Liimapuuta käytetään siltojen päämateriaalina ja siitä pystytään tekemään niin ajoneuvo-, että kevyenliikenteen siltoja. Liimapuu on edullinen valinta tehtäessä alle 20 m maantiesiltoja, sillä se olosuhteista riippuen noin 20-30 % edullisempi kuin tehtäessä silta betonista. (Puuinfo, Puusillat 2017.)

Liimapuuta käyttäessä sillan rakenteena sen tulee olla painekyllästetty mäntyä ja sen tulee täyttää standardien SFS-EN 14080 ja SFS-EN 386 asettamat vaatimukset. Suomessa nykyään valmistettu CE-hyväksytty liimapuu on lujuusluokaltaan GL30, jonka materiaaliominaisuudet löytyvät taulukosta 2. Liimapuulle on annettu myös viitteelliset maksimit, pituus 30m sekä korkeus 2m. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 21.)

Taulukko 2 Suomessa valmistetun liimapuun GL30 materiaaliominaisuudet verrattuna GL32 standardilujuusluokkaan (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 25)

Lujuus Jäykkyys Tiheys	Koodi	Epähomogeeninen liima- puu		Homogeeninen liimapuu	
		GL30c	GL32c	GL30h	GL32h
Lujuuksien ominaisarvot [N/mm²]					
Taivutus	$f_{m,k}$	30,0	32,0	30,0	32,0
Veto II ρ	$f_{t,0,k}$	20,0	19,5	24,0	22,5
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,45	0,5	0,5
Puristus II ρ	$f_{c,0,k}$	25,0	26,5	30,0	29,0
	$f_{c,90,k}$	3,0	3,0	3,0	3,3
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,5	3,2	3,5	3,8
Jäykkyyksien ominaisarvot [N/mm²]					
Kimmokerroin	E_{mean}	13000	13700	13600	13700
	$E_{0,05}$	10800	11100	11300	11100
	$E_{90,mean}$	300	420	300	460
Liukukerroin	G_{mean}	650	780	650	850
	$G_{0,05}$	540	630	540	690
Tiheyksien ominais- ja keskiarvot [kg/m³]					
Ominaistiheys	ρ_k	390	410	430	430
Keskiarvotiheys	ρ_{mean}	430	470	480	500

3.2.4 Viilupuu (LVL)

Viilupuulle on asetettu standardien EN 14374 ja EN14279 mukaiset vaatimukset käytettäessä sitä sillan puurakenteena. Viilupuu on vähintään viidestä 6 millimetriä paksusta tuotteen pituussuunnassa yhdensuuntaisesti tai ristikkäin liimatuista lamelleista koostuva puutuote. Yleisimpiä viilupuutuotteita on Kerto-S, T ja Q. Kerto-S ja -T tuotteissa kaikkien viilujen syysunta on sama, kun taas kerto-Q tuotteessa noin viidennes viiluista on poikittain, mikä lisää poikittaista lujuutta ja jäykkyyttä. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 22.)

Kertopuun materiaaliominaisuudet löytyvät taulukosta 1.

Yleisesti ottaen viilupuu- ja liimapuulevyjä käytetään sillanrakennuksessa vain sekundääristen kohteiden rakenteellisena suojauksena, muottimateriaalina sekä jäykisteinä, mutta kertolevy voi toimia myös sillan kansilaattana. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 22).

3.2.5 Muut materiaalivaatimukset

Puusiltojen rakentamisessa käytettäville liimoille ja metalliliittimille on annettu myös omat vaatimukset (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 23).

Puusiltojen rakenteissa käytettävän liiman tulee täyttää standardin SFS-EN 301 tyypin 1 mukaiset vaatimukset ja niiden tulee säilyttää niille asetettu lujuus ja säilyvyys, jotta liimasaumat säilyvät ehjänä sillan elinkaaren ajan (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 23).

Sillassa käytettävillä metalliosilla tulee olla CE-merkintä tai viranomaisen tai virallisen tutkimuslaitoksen antama hyväksyntä, sekä niiden tulee noudattaa standardin SFS-EN 14592 ja SFS-EN 14545 vaatimuksia (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 23).

Puutuotteiden tulee kestää niille asetetut vaatimukset suunnitelluissa käyttöolosuhteissa ja metalliosien tulee olla korroosionkestävää eli niiden tulee olla ruostumatonta terästä tai ne on suojattava korroosiota vastaan. Puun tulee täyttää standardin SFS-351 kyllästysluokan A vaatimukset sekä kyllästeenä pitää käyttää SFS-EN 599 mukaisia kyllästeitä. (Puurakenteiden suunnittelu 2013, 26.)

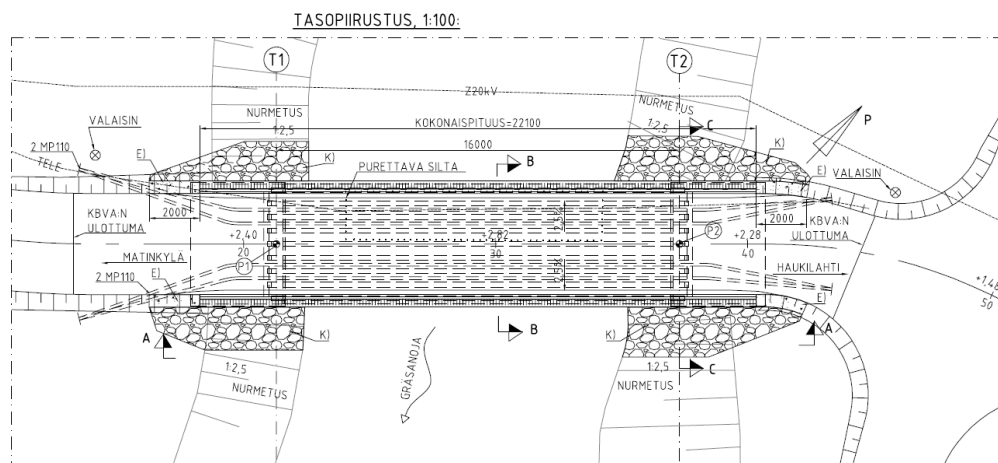
4 MATINPURONSILTA

Matinpuronsilta on Graniittirakennus Kallion Espoon Matinkylään rakentama yksiaukkoinen kevyenliikenteen liimapuupalkkisilta, jossa on 75 mm viilupuu kansi. Silta ylittää Matinkylän ja Haukilahden kaupunginosarajana toimivan Gräsanojan. Uusi Matinpuronsilta korvasi vanhan pois purettavan sillan (kuva 15) (Työselostus 2017, 1).



KUVA 15. Vanha pois purettava Matinpuronsilta

Sillan jänneväli on 16,0 m, hyötyleveys on 4,0 m (laskettuna aurasjohteiden sisäreunasta) ja kokonaispituutta sillä on 21,6 m (kuva 16) (Työselostus 2017, 1). Liitteessä 1 on esitetty sillan poikkileikkauskuvat.



Kuva 16. Tasopiirustus sillasta (Matinpuronsilta, yleispiirustus)

Suunnitelmat oli laadittu N2000 korkeusjärjestelmässä ja ETRS-GK25 koordinaattijärjestelmässä. Matinpuron sillan rakentamisessa noudatettiin InfraRYL2015 mukaisia yleisiä laatuvaatimuksia (Työselostus 2017, 1)

4.1 Siltatyypin päätyminen

Yleissuunnitelmavaiheessa Espoon kaupungille tehtiin vaihtoehdot puu- sekä teräsrakenteisesta sillasta, joka korvaisi vanhan Matinpuronsillan. Tilaajan toiveena oli saada omaileimainen ja maisemaan istuva silta, jossa liikenne tulee lisääntymään kasvavan asutuksen myötä. (Kahila L, sillan suunnittelija, Matinpuronsilta, sähköpostiviesti, Lasse.Kahila@ains.fi, 20.3.2018.)

Espoo haluaa myös tutkia puun käyttömahdollisuutta siltarakenteena ja betonista siltaa pidettiin kyseiseen paikkaan liian urbaanina kuten terästäkin. (Mikkonen A, sillan suunnittelun projektipäällikkö/tarkastaja, Matinpuronsilta, sähköpostiviesti, atte.mikkonen@wsp.com, 20.3.2018.)

4.2 Sillan perustukset

Sillan perustuksina toimii betoniset maatuet kummassakin päässä (kuva 17).



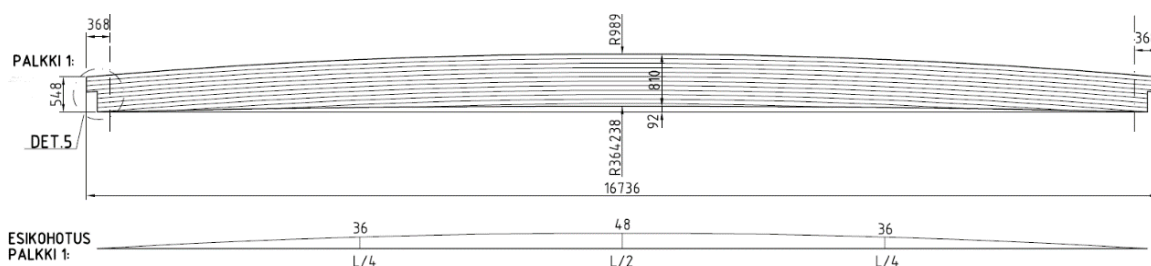
Kuva 17. Betoninen maatuki

Peruslaatat ovat C30/37-3 betonia ja muut rakenteet ovat betonia C35/45-3. Molemmissa suurin sallittu raekoko oli 32 mm. Vaadittu suojapeitebetoni anturoiden alapinnassa oli 100 mm ja muissa pinnoissa 50 mm. Betoniteräksen luokka maatuissa oli B 500B. (Työselostus 2017, 8-9.)

Etu-, siipi- ja otsamuurin maanvastaiset pinnat maatukien taustan puolelta eristettiin 2-kertaisella kumibitumisivelyllä. Otsamuurin yläpintaan liimattiin 1-kertainen kermi suojaamaan puurakennetta kosteudelta. (Työselostus 2017, 9.)

4.3 Palkkirakenne

Matinpuronsillan pääkannattimina toimii 9kpl noin 16 metriä pitkää liimapuupalkkia (kuva 12). Liimapuupalkit on standardin SFS-EN 351-1 mukaisesti suolakyllästetty (kylästysluokka A) ja ne ovat GL30c lujuusluokkaa (kuva 18). (Työselostus 2017, 10.)



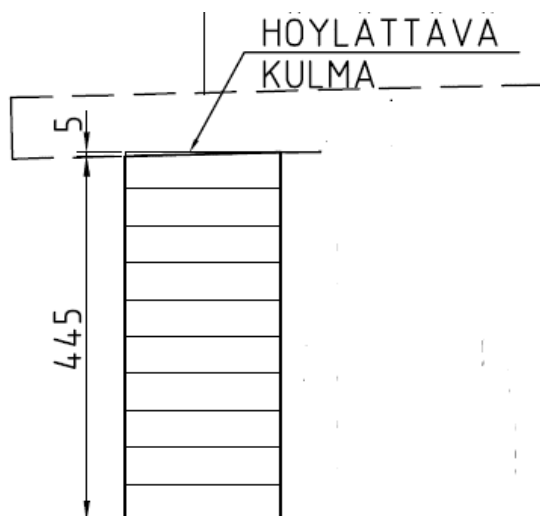
KUVA 18. Palkin 1 sivukuva (Kannen mittapiirustus 1)

Puun raskasta ulkonäköä saatiin kevennettyä vaihtuvakorkeuksisilla puukannattimilla ja näin saatiin ulkonäköä hoikennettua. Lamellien paksuus palkeissa on 45 mm ja palkkien korkeus vaihtelee 450 mm aina 810 millimetriin (kuva 19) (Kannen mittapiirustus 1).



KUVA 19. Liimapuupalkki numero 5 asennettuna paikoilleen

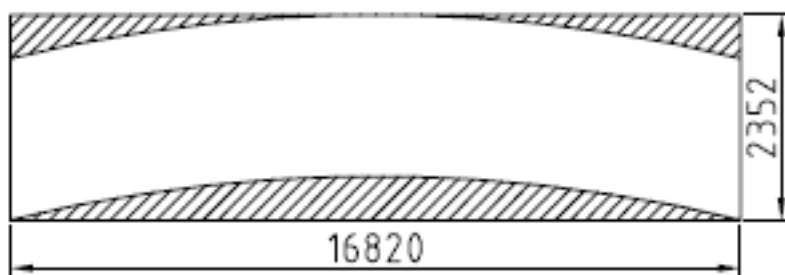
Palkit toimitettiin työmaalle niin, että palkkien yläpuoli oli valmiiksi höylättyä muotoonsa (kuva 20).



KUVA 20. Liimapuupalkki numero 5 poikkileikkaus (Kannen mittapiirustus 1)

4.4 Kansirakenne

Puusilloissa käytetään yleensä 50x150 syrjälankuista tehtyä kantta, jolloin lankut jäykistävät rakenteen poikittaiseen suuntaan, mutta eivät pituussuuntaan. Matinpuronsillassa käytettiin 75 mm kertopuulevyä (Kerto-Q), jonka pituus noin 17m ja sillä saatiin jäykistettyä rakennetta sekä ominaisvärähtelytaajuus riittävän korkeaksi, jottei sillan käyttäjä aisti värähtelyä (kuva 21). (Kahila L, sillan suunnittelija, Matinpuronsilta, sähköpostiviesti, Lasse.Kahila@ains.fi, 20.3.2018.) Sillan kansi on tehty kahdesta osasta ja se on liitetty pääkannatinpalkkeihin vinoruuviliitoksin (Työselostus 2017, 10).



KUVA 21. Kansielementin muoto suorana, vähimmäismitat ennen työstöä (Kannen mittapiirustus 1)

Jos Matinpuron sillassa olisi käytetty syrjälankkukantta, liimapuupalkkeja olisi pitänyt kasvattaa riittävän jäykkyyden saavuttamiseksi, joten kertopuukannella sillasta saatiin hoikempi ja tyylikkäämmän näköinen. Reunimmaisen palkin korkeus $L/35$ on puusillaksi erittäin hoikka ja se tuo siltaan tilaajan kaipaamaa omaleimaisuutta. (Kahila L, sillan suunnittelija, Matinpuronsilta, sähköpostiviesti, Lasse.Kahila@ains.fi, 20.3.2018.) Yhtenäinen levy toimii myös hyvin rakennetta jäykistävänä, on hoikka eikä se myöskään rakoile. (Mikkonen A, sillan suunnittelun projektipäällikkö/tarkastaja, Matinpuronsilta, sähköpostiviesti, atte.mikkonen@wsp.com, 20.3.2018.)

4.5 Kannen eristys ja pintarakenne

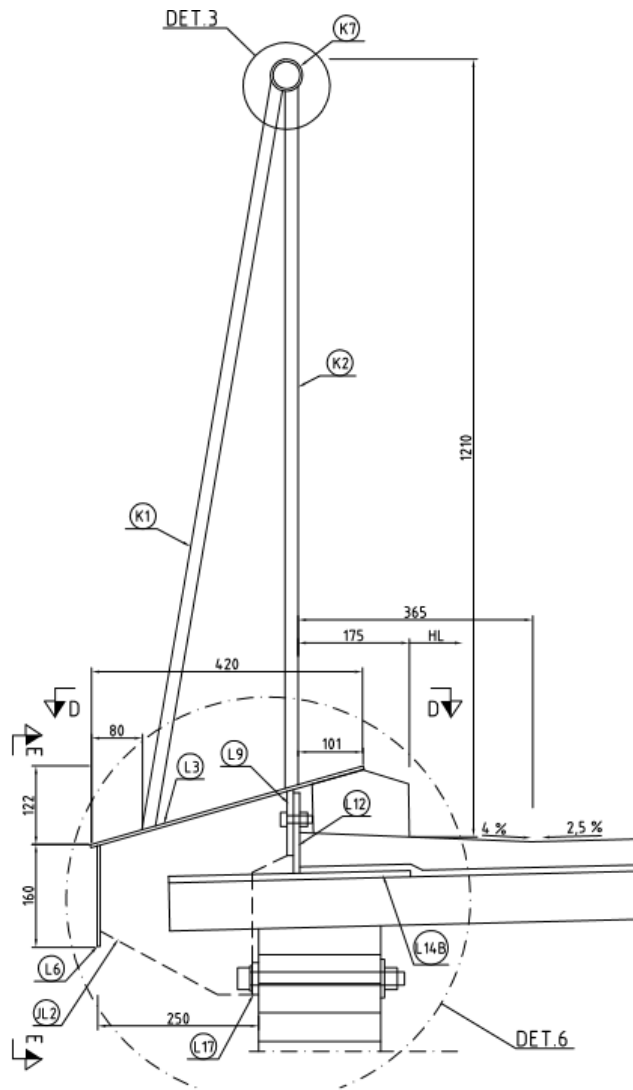
Sillan kannen eristekerroksena toimii 15 mm eristemastiksi ja kertopuukannen reunoissa kumibitumisively, joka ulotettiin kannen pystypintaan sekä tasaiseen pintaan 300 mm kaistaleelle reunasta (Työselostus 2017, 10).

Eristemastiksin päälle tuli 40 mm kumibitumivaluasfaltti kerros (Työselostus 2017, 10).

Sillassa ei ole varsinaista liikuntasaumalaitetta vaan päällystekerros sahattiin 20mm matkalla ja se täytettiin elastisella saumamassalla, mikä toimii liikuntasaumana. Sillan päitä suojaa suojapelti, joka estää maa-aineksen pääsemisen laakeritasolle puukannen ja otsamuurin välistä. Levyjen väliin pituussuunnassa jäävän raon suojana toimii 1mm harjapelti. (Työselostus 2017, 10.)

4.6 Kaiteet ja muut varusteet

Sillan kaiteet suunniteltiin niin, että näkyviä ruuvi-/naulaliitoksia olisi mahdollisimman vähän näkyvillä, mikä teki sillan kaiderakenteesta hieman monimutkaisen. Kaiteet ovat kuumasinkityt teräksiset kaiteet, jotka on maalattu värisävyllä RAL 1004 (kullankeltainen) (kuva 22) (Työselostus 2017, 11.)



Kuva 22. Kaiderakenne (Kaidepiirustus 1)

Kaide koostuu 10 elementistä ja kaiteita varten puukanteen ja maatuikiin liitettiin teräksiset kiinnityselementit, johon kaide liitettiin pulttiliitoksin. Kaide-elementin toteutus tehtiin NCCI-T mukaisesti. Kaide elementit varustettiin puisella ”aurausparrulla”. Aurasparru oli etikkakyllästetystä puusta (Accoya). (Työselostus 2017, 10.)

Silta varustettiin yksikerroskumilevylaakereilla 190x200x15 mm, jotka tulivat jokaisen liimapuupalkin alle yhteensä 18 kappaletta (kuva 23). (Työselostus 2017, 10.)



Kuva 23. Matinpuronsillan kumilevylaakeri

Nämä yksikerroskumilevylaakerit eivät kuitenkaan toiminnallisesti ole varsinaisia laakereita vaan ne toimivat kulumissuojina. Sillan siirtymät maatukeen nähden estettiin laakeritasoille asennettujen kiinnityspulttien avulla. Suurin laakerikuorma Matinpuronsillassa on 280 kN. (Työselostus 2017, 10.)

5 MATINPURONSILLAN RAKENTAMINEN

Matinpuronsillan palkki- ja kansirakenne päätettiin koota valmiiksi sillaksi työmaa-alueella, jonka jälkeen silta kuljetettiin ja nostettiin paikoilleen. Tähän syynä oli Matinpuron korkea vedenpinta, eikä kasaus olisi onnistunut paikan päällä. Seuraavassa kappaleessa käydään läpi Matinpuronsillan rakennusvaiheet läpi, sekä miten ne toteutettiin työmaalla.

5.1 Rakennusvaiheet

Matinpuronsillan kansirakenteen kasaus aloitettiin lokakuussa 2017 ja maanrakennustyöt päästiin aloittamaan vasta joulukuussa Matinpurossa olevien lohien kutuajan takia. Sillan nosto paikoilleen tapahtui 2018 maaliskuussa, jonka jälkeen tehtiin kaiteiden asennukset, kannen eristys, sillan kannen asfaltointi, sekä viimeistelytyöt.

5.1.1 Valmistelut ja pelkkatason rakentaminen

Ennen pelkkatason rakentamista valittiin paikka, johon silta voitaisiin kasata. Vaatimuksina tälle paikalle oli, ettei se saisi olla muun työmaan tiellä, sillä tiedettiin, että se voi olla muutaman kuukaudenkin paikoillaan, sekä tulevan sillan ympärillä tulisi olla tilaa ja maan oltava riittävän kantavaa nostokalustolle millä nostetaan liimapuupalkit ja kansilevyt paikoilleen. Paikaksi valittiin myöhemmin valmistuva BMX-radan pohja missä Graaniittirakennus Kallio oli tehnyt massastabilointia ja massanvaihtoa (kuva 24).



KUVA 24. Silta kasattiin kuvassa näkyvälle aukealle, johon myöhemmin valmistuu BMX-rata

Pohjat tasattiin ja tärytettiin huolella kasaustason mahdollisen painumisen pienentämiseksi.

Pelkkataso rakennettiin laittamalla 4 kpl HEB-300 palkkeja (2kpl molemmilla puolilla) pohjalle, jonka päälle hitsattiin 5 kpl HEB-300 palkkeja liimapuupalkkien suuntaisesti (kuva 25).



KUVA 25. Pelkkataso valmiina sillan kasausta varten

Pohjan ollessa valmis HEB-300 palkit hierottiin vaakatasoon tasolaseria apuna käyttäen ja palkit nostettiin paikoilleen. HEB-palkkiin hitsattiin topparit paikoilleen niin, että 150x150 pelkat pysyvät paikoillaan laakeripisteen kohdalla molemmissa päissä (kuva 26).



KUVA 26. Pelkkojen tuenta toppareilla

Pelkkatason jälkeen kiinnitettiin palkkien laakeripisteisiin korotuslevyt suunnitelman mukaisesti (Liite 2). Korotuslevyt olivat eri paksuisia vanereita (4 mm, 8 mm, 12 mm) ja ne kiinnitettiin ruuvein kiinni pelkkatasoon (kuva 27). Niiden asennuksessa käytettiin apuna tasolaseria oikean korotus korkeuden saamiseksi.



KUVA 27. Palkkien korotuslevyt paikoilleen asennettuna

Vanereihin merkittiin tukilinja sekä palkkien reunalinjat. Korotuslevyjen paikka ja korko varmistettiin vielä takymetrillä (kuva 28).



KUVA 28. Korotuslevyjen korkojen tarkistaminen takymetrillä

5.1.2 Palkkien asennus

Ennen liimapuupalkkien saapumista tasoitettiin ja valmisteltiin nostokaluston ympäristö vaatimusten mukaisesti. Nosto tehtiin kahdella Hiab autolla, jotka ajettiin sillan päihin ja pystytettiin suunnitelman mukaisesti mahdollisimman lähelle kasauspätiä, jonka jälkeen palkkikuorma tuotiin sillan sivunsuuntaisesti niin, että molemmat koneet yltyivät purkamaan kuorman (kuva 29).



KUVA 29. Nostokalusto ja palkkikuorma paikoillaan odottamassa asennusta

Liimapuupalkit saapuivat työmaalle hieman eri tavalla lastattuna, kuin oli alun perin sovittu. Tämän takia suunniteltiin nosto uudelleen ja se tehtiin hieman eri tavalla, kuin alkuperäisessä nostosuunnitelmassa. Alustavasti oletettiin palkkien saapuvan niin, että ne on lastattu pystyyn ja palkit saapuivat siten, että ne olivat lastattu lappeelleen (kuva 30).



KUVA 30. Palkit työmaalla odottamassa purkua

Tämä aiheutti muutoksen nostosuunnitelmaan ja palkit piti vielä saada käännettyä pois lappeeltaan, jotta ne saatiin laskettua suoraan oikeille paikoilleen. Palkit nostettiin laittamalla molempiin päihin liinat noin metrin päähän palkin päästä, jonka jälkeen palkki käännettiin varovasti oikein päin. Palkin päihin merkattiin nostaessa laakeri/tukilinja pysyviivalla palkin kohdistamista varten. Näin helpotettiin palkin nostamista paikoilleen.

Liimapuupalkit kiinnitettiin kulmarauodoilla väliaikaisesti ja näin varmistettiin, etteivät ne päässeet kaatumaan lappeelleen (kuva 31).



Kuva 31. Palkkien tuenta kulmarauodoilla

Palkkien väliseen rakoon tulisi kiinnittää jatkossa huomiota, sillä rako oli hieman liian pieni siihen, että olisi saanut pujotettua nostoliinan oikeasta kohti ja tämän takia palkkia joutui hieman nostamaan päästä niin, että nostoliinan mahtui pujottamaan välistä. Palkit oli numeroitu 1-5 (keskimäinen numero 1) minkä kanssa piti olla tarkkana, sillä palkkien yläpää oli höylätty tiettyyn kulmaan. Näin ollen palkkeja purettaessa kyydistä piti miettiä aina, tuleeko kyseinen palkki keskipalkin oikealle vai vasemmalle puolelle. Palkit olisi voinut numeroida 1-9 ja näin aina kyydistä nostaessa olisi helppoa katsoa kummalle puolelle keskipalkkia kyseinen palkki nostetaan.

Palkkien lastauksessa oli myös ilmeisesti käytetty hieman väärää lastaustyyliä ja lappeellaan olleiden alimmaisten palkkien reunat olivat vahingoittuneet lastauksessa (kuva 32). Ilmeisesti palkit oli nostettu keskeltä trukkipiikkien avulla, sillä jälkiä oli aina kaksi samoisella etäisyydellä toisistaan, että trukkipiikit olivat varmasti tehneet kyseiset jäljet. Muutenkaan neljän liimapuupalkin nostaminen yhtä aikaa keskeltä ei ole välttämättä se paras lastaustapa, vaikka se onnistuisi ilman, että mitään jälkiä syntyisi liimapuupalkkeihin.



KUVA 32. Lastauksessa tullut jälki lappeellaan olevan liimapuupalkin yläreunassa

Tästä syystä tulisi aina varmistaa vielä ennen palkkien saapumista työmaalle, miten ne on lastattu ja missä järjestyksessä. Kaikki liimapuupalkit eivät myöskään asettuneet aivan oikeaan korkoon (kuva 33) ja osaa palkeista nostettiin tunkilla ylöspäin ja laitettiin sopivaa vanerin palaa väliin, jotta saimme palkit oikeaan korkoon ja näin levy onnistuttiin nostamaan tasaisemmin palkkien päälle.



KUVA 33. Liimapuupalkki 4 asennettuna, joka jäi noin 8 mm liian alas

Palkit tuettiin lopuksi lankuilla ja laudalla niin, etteivät ne päässeet kaatuman (kuva 34).



KUVA 34. Palkit nostettuna paikoilleen ja tuettuna kaatumista vastaan

Jokaisen liimapuupalkin väliin asennettiin kolme kappaletta puisia jäykisteitä, jotka tukivat sillan rakennetta (kuva 35). Jäykisteet asennettiin palkkien asennuksen jälkeen ja tila oli todella vähissä asentaessa pystypuita 200 mm pitkien ruuvien takia.



KUVA 35. Jäykiste asennettuna paikoilleen

Helppimmalla pääsee, jos asentaa jäykisteiden 100x100 pystypuut jo liimapuupalkkien nostovaiheessa niin on enemmän tilaa työskennellä.

Sillan alle asennettiin myös olemassa olevia ja tulevia kaapeleita varten 4 kpl 110 mm kaapelinsuojaputkia (kuva 36). Suojaputkia varten rakennettiin kaapelitukia kahden metrin välein, sekä porattiin 110 mm läpivientireikä jäykisteisiin, josta vietiin suojaputkia läpi.



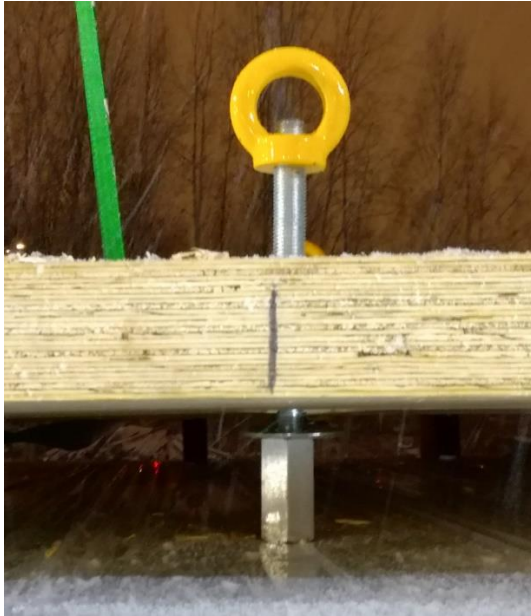
KUVA 36. Kaapelinsuojaputkia asennettuna

Kaapelituet on helpompi asentaa ennen kannen asennusta, niin palkkien välissä on mukavampi työskennellä.

5.1.3 Kansilevyjen asennus

Kansilevyt saapuivat työmaalle kuljetuslavetilla ja ne nostettiin paikoilleen kahdella hiab autolla, jotka pysäköitiin liimapuupalkkien päihin mahdollisimman lähelle kasauspetiä. Keskimmäiseen liimapuupalkkiin piirrettiin asennuslinja, joka helpotti kansilevyjen laskeamista.

Kansilevyihin porattiin neljä kpl 32 mm reikää nostosuunnitelman mukaisesti, joihin laitettiin nostolenkit (kuva 37). Kansilevyt olivat identtiset, mutta ne jaettiin lohko 1 ja lohko 2 kansilevyiksi, sillä perusteella, että toinen kiinnitettiin keskipalkkiin ruuviliitoksella ennen sillan siirtoa ja toinen taas jätettiin ruuvaamatta kiinni siihen.



KUVA 37. Kannen nostossa käytetty nostolenkki 30 mm

Aluksi nostettiin lohko 1 kansilevy palkkien päälle ja aseteltiin se oikealle kohdalle niin, että kansilevy jäi noin 15 mm päähän keskilinjasta palkin keskikohdalla ja päissä rako oli hieman pienempi (kuva 38).



Kuva 38. Lohkon 1 kansilevyn nostaminen paikoilleen

Lohko 1 kansilevy kiinnitettiin muutamasta kohdasta kiinni, jottei se päässyt liikahtamaan lohko 2 kansilevyä nostaessa paikoilleen. Lohkon 2 kansilevy nostettiin vastaavalla tavalla paikoilleen.

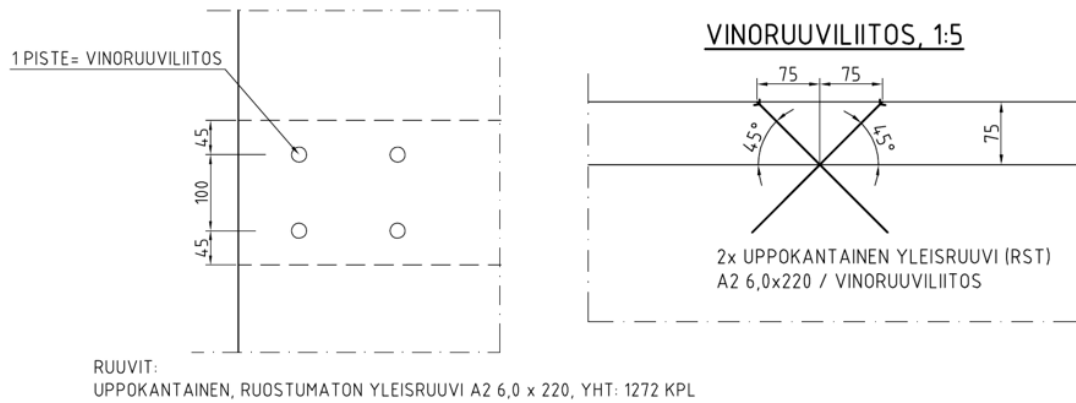
Kansilevyä asentaessa hankalaksi osoittautui sen asemointi pituussuunnassa, sillä toleranssi tässä suunnassa oli paljon pienempi (n.25 mm), kuin leveyssuunnassa. Kahdella nosturilla pienten liikkeiden tekeminen on erittäin hankalaa ja melkein 17 metrisen levyn joka kantaa vielä vähän keskeltä liikuttaminen muutamia millijä ei ole helppoa. Näin ollen levyssä saisi olla pituussuunnassakin hieman enemmän toleranssia mikä nopeuttaisi asennusta. Kansilevyjen tuli myös alkuperäisten suunnitelmien mukaan laskeutua suoraan palkkien päälle niin, ettei palkin ja kansilevyn väliin jää juuri mitään rakoa. Näin ei kuitenkaan käynyt vaan levy jäi nurkistaan noin 3-4 cm ilmaan (kuva 39).



KUVA 39. Kansilevyn nurkka asentamisen jälkeen

Kansilevyn sai kuitenkin painettua paikoilleen suhteellisen pienillä painoilla. Niihin kohtiin jotka olivat vielä ilmassa, niin laitettiin 10x100 kansiruuvit ja näin saatiin painettua kansilevyn nurkka palkkia vasten. Muutamaan kohtaan keskemälle mistä kansilevy oli vielä ylhäällä, jätettiin pienet painot yöksi.

Kannen ruuvaaminen aloitettiin seuraavana päivänä poistamalla painot kannen päältä ja laitettiin vielä muutama kansiruuvi paikkoihin, josta kansilevy oli ilmassa. Kanteen merkittiin linjalangalla ruuvien paikat. Kansilevy ruuvattiin kiinni palkkeihin 6,0 x 220 yleisruuvein suunnitelman mukaisesti (kuva 40).



KUVA 40. Kannen ruuvaus-suunnitelma (Kannen mittapiirustus 2)

Heti ensimmäisiä ruuveja ruuvatessa ongelmaksi muodostui se, ettei ruuveja saanut porattua loppuun asti, joko ruuvien kanta pyörähti pyöreäksi tai koko ruuvi vääntyi vinoksi (kuva 41). Ensimmäisestä 12 ruuvista meni 4 loppuun asti ja tästä syystä ruvettiin tekemään esireiät ruuveja varten.



KUVA 41. Vääntyneitä ruuveja

Esireiän avulla saatiin loput ruuvit ruuvattua hyvin kiinni kanteen, eikä ruuveja enää vääntynyt kuin muutama (kuva 42). Lohkoa 2 ei voinut vielä tässä vaiheessa kiinnittää keskipalkkiin, sillä silta kuljetettiin kahdessa osassa lopulliselle paikalleen.



KUVA 42. Kansilevyn ruuvit asetettuina valmiiksi esireikiin

Kannen ruuvauksen jälkeen sahattiin moottorisahalla suunnitelman mukaisesti kaiteille varaukset kanteen (kuva 43).



Kuva 43. Kansilevyyn sahattiin varaukset kaiteita varten

5.1.4 Maanrakennustyöt

Rakennuspaikalla sijaitseva vanha betonisille maatuille perustettu puukantinen teräspalkkisilta, joka purettiin, jotta päästiin rakentamaan uuden sillan maatukia. Tätä ennen kuitenkin suojattiin muutamia puita aitamaalla InfraRyl 2010 mukaisesti ja selvitettiin sillan pohjoispuolella kulkevan 20 kV voimalinjan sijainti tarkasti ennen kaivuutöiden aloittamista. Voimalinja oli suojattu betonilla, joka piikattiin esiin (kuva 44). Matinpuron yli menevät vanhat kaapelit tuettiin kahdella pontilla, jotka olivat hitsattu kiinni toisiinsa ja ne asetettiin vaakatasossa puron yli.



KUVA 44. Vanhassa sillassa kulki 20 kV voimalinja, joka oli suojattu betonilla

Päätukien kohdalla oli toisella puolella massanvaihtoa ja toisella puolella louhintaa. Korkea vedenpinta haittasi maanrakennustöitä ja näin ollen jouduttiin pontittamaan molemmat puolet, jotta saatiin tehtyä maatuet kuivatoina.

Maatukien valamisen jälkeen laakeritasolle tehtiin korotukset liimapuupalkkeja varten. Suunnitelmiin piirretyt korotukset olivat niin pienet, joten jouduttiin piikkaamaan korotusten kohdalta vähän pois, jotta varmistuttiin siitä, että korotukset kestävät siltarakenteelta tulevan kuormituksen (kuva 45).



Kuva 45. Laakeritason korotukset liimapuupalkkeja varten

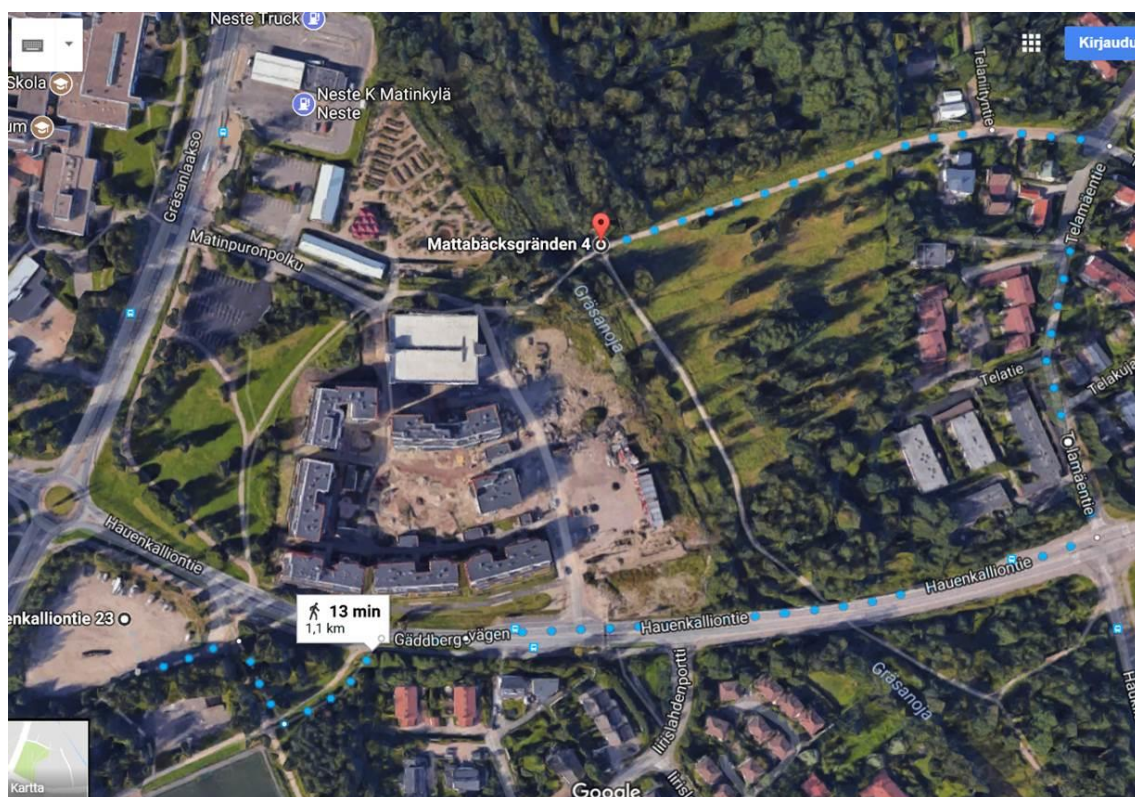
Maatukien jälkeen tehtiin sillan etuluiskiin kiviheitoke, joka ulottui parin metrin päähän siipimuurien päiden yli (kuva 46).



Kuva 46. Luiskaverhous sillan etuosassa

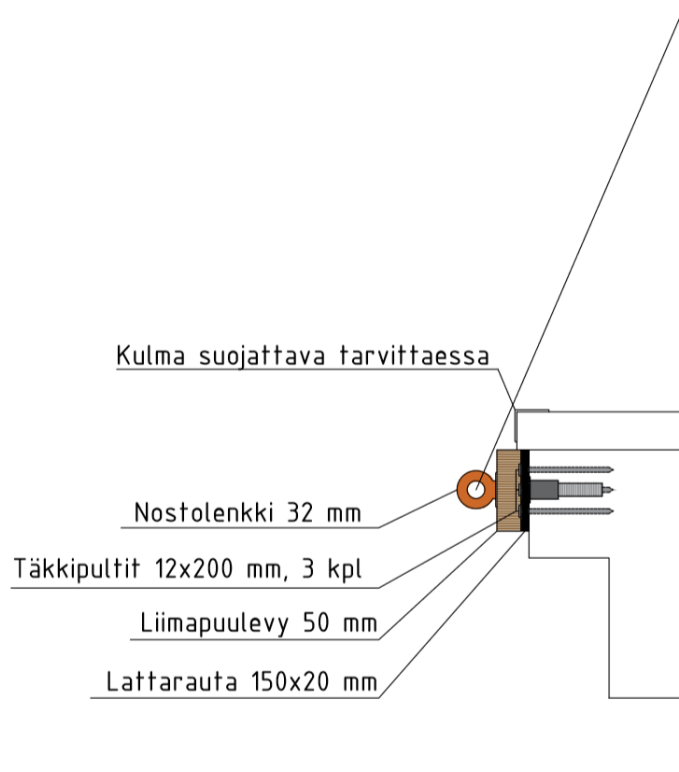
5.1.5 Sillan kuljetus ja nosto

Silta jouduttiin siirtämään noin kilometrin matkan päähän sen kasauspaikasta (kuva 47). Sillan siirtämisessä tarvittiin apuna nostohenkilöstöä + apumiehiä (sillan paikoilleen asetteluun ja liikenteen pysäyttämiseen), 2 kpl nostureita, 2 kpl kuljetusajoneuvoja sekä työnjohtoa. Siirto- ja nostotyö suunniteltiin tarkkaan ennen niiden toteuttamista. Silta painoi kokonaisuudessaan noin 16 tonnia. Se kuljetettiin kahdessa osassa, jolloin toinen lohko painoi 9 tonnia ja toinen 7 tonnia. Nosto suoritettiin 18 m pitkillä ketjuilla. Laakeritasolle merkattiin sillan palkkien paikat, laitettiin muutama kulmarauta paikoilleen asentamisen helpottamiseksi ja kumilevy-laakerit aseteltiin paikoilleen.



Kuva 47. Sillan siirtoreitti

Sillan siirtoa varten siltaan kiinnitettiin 2 kpl 32 mm nostolenkkiä (per pääty) nostosuunnitelmassa olevalla tavalla (kuva 48). Lattarauta kiinnitettiin sillan puolikkaan jokaiseen liimapuupalkkiin kolmella 200 mm pitkällä täkkipultilla.



Kuva 48. Nostolenkkien kiinnitys siltaan

Lastauskoneena toimi 90 t ajoneuvonosturi, joka pedattiin sillan kasauspaikan viereen (kuva 49).



Kuva 49. 90 t ajoneuvonosturi

Molempiin kuljetusajoneuvoihin tehtiin korokepalat sillan palkkien korkeuserojen takia, jotka kiinnitettiin niin, etteivät ne päässeet liikkumaan kuljetuksen aikana (kuva 50).



Kuva 50. Kuljetuksen aikaiset korotuspalat

Lastaus aloitettiin nostamalla 2 lohko ensimmäisen kuljetusajoneuvon lavetille. Lohko 2 oli sillan puolisko mikä ei ollut kiinni keskipalkissa, joten sitä ei voinut nostaa paikoilleen ennen 1 lohkoa, joten se siirrettiin sivummalle odottamaan ensimmäisen lohkon nostamista paikoilleen (kuva 51).



Kuva 51. Lohko 2 nosto

Lohko 1 nostettiin jatkettavan puoliperävaunun kyytiin, jonka jälkeen se lähdettiin siirtämään kohti sillan oikeaa paikkaa (kuva 52). Reilun kilometrin matkalle oltiin järjestetty liikenteen ohjaus risteysksiin ja Telämäntiellä oli pysäköinti kielletty tien varteen klo 8-15.



Kuva 52. Lohko 1 lastattuna kyytiin

Asennus paikalla odotti valmiina jo 200t ajoneuvonosturi, joten tässä välissä ei tarvinnut toisen nosturiauton siirtyä paikasta toiseen (kuva 53).



Kuva 53. Lohko 1 asennusta paikoilleen

Lohkot aseteltiin paikoilleen merkkien mukaan ja tarkastettiin vielä, että jokainen kumi-levylaakeri pysyi paikoillaan laskemisen jälkeen. Molemmat lohkot saatiin nostettua paikoilleen ilman mitään suurempia ongelmia (kuva 54).



Kuva 54. Molemmat lohkot asennettuna paikoilleen

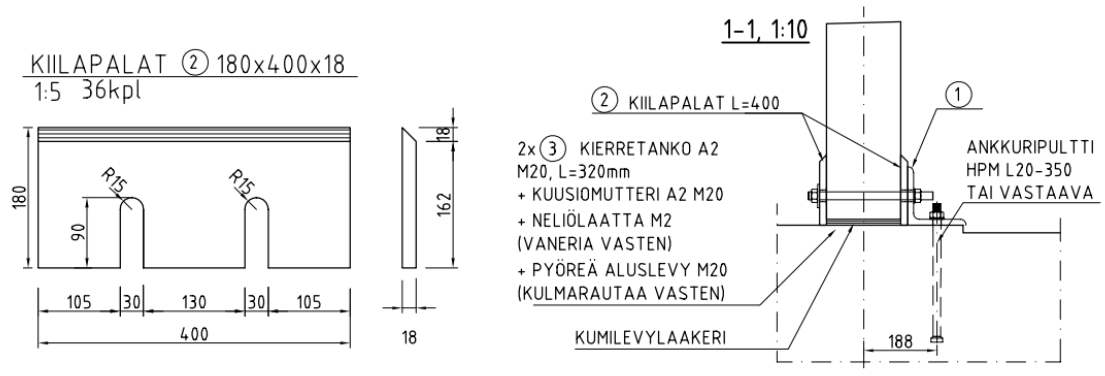
5.1.6 Viimeistelytyöt

Sillan paikoilleen nostamisen jälkeen kiinnitettiin silta maatukeen kulmarautojen avulla. Kulmaraudat tulivat kiinni 20mm RST kierretankojen avulla kiinni palkkeihin (kuva 55).



Kuva 55. Liimapuupalkit kiinnitettiin maatukeen kulmarautojen avulla

Kulmaraudan reiän koko oli 22 mm ja maatuessa oleva pultti oli 20 mm mikä aiheutti hieman ongelmia ja tätä reikää jouduttiin lopulta suurentamaan, jotta saatiin kulmaraudat paikoilleen. Kulmaraudan ja palkin väliin laitettiin 18 mm havuvanerista tehdyt kiilapalat, joka estää kulmaraudan hankauksen liimapuupalkkia vasten (kuva 56).



Kuva 56. Kulmarautojen ja palkin väliin tuleva kiilapala (Alusrakenteen mittapiirustus)

Palkkien päihin laitettiin vielä, joita varten otsamuuriin kiinnitettiin lauta, johon kiilapalat saatiin kiinnitettyä. Lopuksi kiinnitettiin keskimmäiset jäykisteet, päätylaudat ja pääty-pelti. Tässä kohtaa silta oli kaide- ja pintarakennetta vaille valmis.

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteen oli selvittää, minkälainen rakennusmateriaali puu on, kun sitä käytetään siltarakentamisessa. Puun käyttö silloissa on ollut erittäin vähäistä, mutta viime aikoina on tullut merkkejä siitä, että sitä ruvettaisiin käyttämään yhä useammin siltarakentamisessa. Yksi asia mikä on vaikuttanut puun vähäiseen käyttöön, on ennakkoluulot sitä kohtaan. Sillat on pitkään tehty nyt pääasiassa betonista ja puun käyttö on ollut vähäistä, mikä tekee kynnyksestä rakentaa puusta vielä suuremman. Puussa on kuitenkin monia hyviä ominaisuuksia verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Suurimpina näistä ovat varmastikin sen ekologisuus, helppo saatavuus ja sen työstettävyys. Sen huonoja puolia ovat lahoaminen, herkkyys kosteutta vastaan sekä heikko kestävyys mekaanista kulutusta vastaan, mutta oikein suojattuna ja rakennettuna puu on kilpailukykyinen muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna.

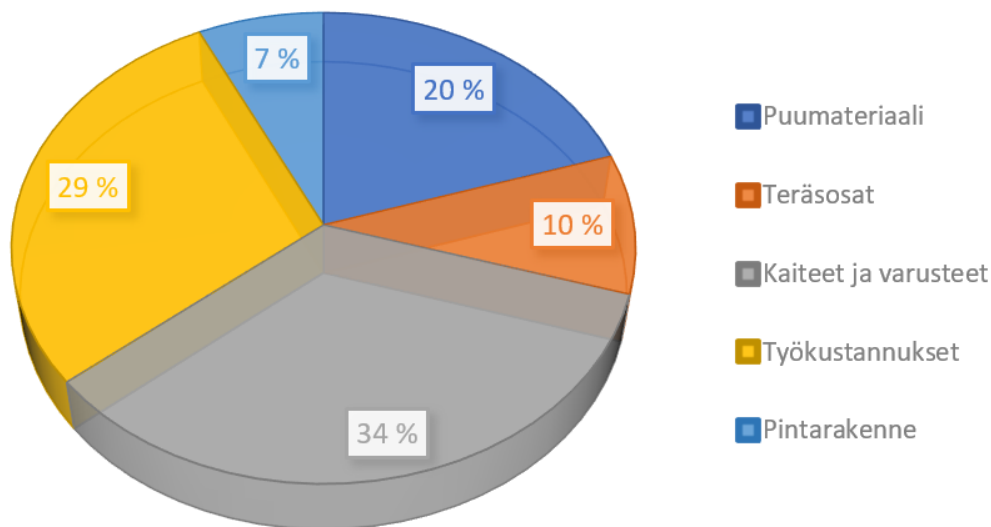
Päätavoitteena opinnäytetyössä oli tutustua Matinkylään tulevan yksiaukkoisen liimapuupalkkisillan rakentamisen eri vaiheisiin sekä pohtia mitä tulevaisuudessa tulisi muuttaa, jos rakennettaisiin vastaavanlainen silta. Sillan rakentamiseen on kaksi vaihtoehtoa, joko se kasataan paikoilleen tai se kasataan erikseen ja kuljetetaan lopuksi paikoilleen. Matinpuronsilta kasattiin erillisellä asennuspaikalla, jonka jälkeen se kuljetettiin siltapaikalle. Tämä vaihtoehto on toimiva, jos siltaa ei ole mahdollista kasata paikan päällä. Sillan kasaaminen erikseen ja kuljettaminen tuovat kuitenkin omat haasteensa. Se vaatii kasauspaikan missä on tilaa kasata silta ja nostokalusto tarvitsee oman tilansa sekä päivän työn vähintään vaatii myös taso, minkä päälle silta kasataan. Sillan kasaaminen paikan päällä on helpoin ratkaisu ja varmasti halvin, mikäli ympäristö sen vaan sallii. Se kuitenkin vaatii sen, että pääsee työskentelemään turvallisesti sillan sivuilla, alla ja päällä. Veden päälle rakentaessa rakentaminen vaatii aina enemmän suunnittelua.

Sillan kasauksessa itsessään oli muutamia hankaluuksia. Valmiiksi tehdyt viisteet liimapuupalkkeissa eivät aivan osuneet kohdalleen, minkä takia ratkaisuksi tähän voisi olla, se, että ne tehtäisiin vasta työmaalla, mikä antaisi myös anteeksi pienen palkkien korkoeron. pystypuita kiinnittäessä tulee ottaa huomioon asennusjärjestys ja varmistaa se, että kiinnitykselle on tarpeeksi tilaa pitkien ruuvien ja pulttien takia. Palkkien pienien paksuusvaihteluiden takia jäykistelevyjä ei kannata tilata määrämittäisinä, sillä niitä jouduttiin muokkaamaan palkkien paksuuden vaihdellessa 190-195 mm välillä. Palkkien pituudessa

on myös 5-10 mm heittoja mikä pitää huomioida mahdollisesti jo maatukien pulteissa tai viimeistään liimapuupalkkien päihin tulevien kiilapalojen teossa. Muutenkin suunnitelmissa pitäisi ottaa huomioon paremmin materiaalien toleranssi heitot. Kertopuulevyn taiputussäde tulisi selvittää paremmin jatkossa yhdessä levytoimittajan kanssa niin levy saataisiin vaivattomammin asennettua.

Urakkalaskenta oli onnistunut Matinpuronsillassa hyvin. Sillan lopulliseksi hinnaksi tuli hieman yli 200 000 €. Suurin hinta muodostui kaiteista ja varusteista, joiden hinta oli hieman yli kolmanneksen koko sillan hinnasta (kuvio 3). Kaiteiden erikoisempi rakenne nosti kaiteiden hintaa reilusti ja pelkkien kaiteiden hinta oli yli 60 000€. Toiseksi suurimmaksi kokonaisuudeksi muodostui työt. Sillan kuljetuksen ja paikoilleen asennuksen hinta oli 7 500 €. Puumateriaali kattoi viidenneksen sillan kokonaishinnasta ja tässä liimapuupalkkien osuus 32 000 € ja kertopuukannen 5000€. Tässä pienen yllätyksen teki aurasparrujen hinta, mikä oli 43 €/m ja tämä muodosti aika suuren kokonaisuuden puumateriaalin hinnasta. Muut kulut olivat teräsosat 10% ja pintarakenne 7 %.

Kuvio 3. Hintojen jakautuminen Matinpuronsillassa



Opinnäytetyön yhteydessä laadittiin työohjeet yksiaukkoisen liimapuupalkkisillan rakentamiseen paikoilleen ja erikseen kasattuna (liite 3, 4). On kuitenkin myös syytä tutustua

case Matinpuronsillan rakentamiseen ja sen työvaiheisiin ja niissä kohdattuihin ongelmiin.

Tulevaisuutta varten jää suurimmaksi kysymykseksi vielä, miten Matinpuronsillassa käytetty Kerto-Q liimapuulevy kestää ja onko vastaavanlaisen sillan rakentaminen helpompaa paikoilleen rakennettuna vai ei? Viimeiseksi kysymykseksi opinnäytetyöstä jää ruveetaanko Suomessa käyttämään enemmän puuta siltarakentamisessa?

Opinnäytetyön tekijälle tämän työn tekeminen herätti kiinnostusta puurakentamista kohtaan sekä opetti puu- sekä siltarakentamisesta paljon, sillä eri rakennusvaiheissa pystyi olla itse mukana. Työohjeet tulevaisuutta varten ovat itse todettuja asioita, miten asiat tulisi tehdä, jotta päästäisiin helpommalla rakentaessa vastaavanlaisia siltoja.

LÄHTEET

ELY-keskus, sillat. 2017. Luettu 29.11.2017

<https://www.ely-keskus.fi/web/ely/sillat>

Etelänkylän isosilta 2006.

<http://www.suomitour.com/2006/08/etelankylan-isosilta.html>

Kannusilta Espoo 2017.

<http://www.palingranit.com/fi/references/kannusilta>

Leonardo da Vinci silta 2012.

<https://thornews.com/2012/02/22/leonardo-da-vincis-bridge-in-norway/>

Liikennevirasto, liikenneviraston sillat. 2016. Luettu 31.11.2017.

https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti_2016-05_liikenneviraston_sillat_web.pdf

Liikennevirasto, sillat ja ympäristö. 2013. Luettu 1.1.2017.

https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lop_2013-03_sillat_ymparisto_web.pdf

Liikennevirasto. Eurokoodin soveltamisohje, Puurakenteiden suunnittelu – NCCI 5. 2013. Luettu 25.1.2018.

https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-25_ncci5_web.pdf

Markku Laukkanen, Puusillat halutaan mukaan siltarakentamisen markkinoille. 2013. Luettu 20.3.2018.

<https://www.puuinfo.fi/tiedote/puusillat-halutaan-mukaan-siltarakentamisen-markkinoille>

Matinpuronsilta 6963/490 rakennussuunnitelmaselostus ja siltakohtaiset laatuvaatimukset. 2017. Luettu 21.2.2018.

Matinpuronsilta, alusrakenteen mittapiirustus. Luettu 25.3.2018.

Matinpuronsilta, yleispiirustus. 2017. Luettu 24.3.2018.

Matinpuronsilta, kaidepiirustus 1. 2017. Luettu 24.3.2018.

Matinpuronsilta, kannen mittapiirustus 1. 2017. Luettu 14.2.2018.

Matinpuronsilta, kannen mittapiirustus 2. 2017. Luettu 21.1.2018.

Palkkisillat. Luettu 24.3.2018.

<http://torsti.pp.fi/sillat/tyyppipalkki.htm>

Palkkisilta 2017, Kurjenmäen kaarisilta 2017.

<https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/maa-ja-tierakentamisen-tuotteet/puusillat>

Puuinfo, liimapuu. Luettu 25.1.2018.

<http://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6%C3%B6ripuutuotteet/liimapuu>

Puuinfo, puusillat. 2017. Luettu 29.11.2017.

<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusillat>

Puuinfo, Puusilta istuu suomalaiseen maisemaan. Luettu 20.3.2018.

<https://www.puuinfo.fi/tiedote/puusilta-istuu-suomalaiseen-maisemaan>

Puuinfo, puusiltaesite. 2017. Luettu 1.1.2017

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puusiltaesite.pdf>

Tampere.fi, Tampere mukaan puurakentamisen yhteistyöhön. 2014. Luettu 14.2.2018.

https://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/ajankohtaista/tiedotteet/2014/05/31082015_69.html

Versowood, tyyppihyväksytyt sillat. 2017. Luettu 5.11.2017

<https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/maa-ja-tierakentamisen-tuotteet/tyyppihyvaksytyt-sillat>

Vihantasalmen silta 2017.

<https://tuomovirtanen.kuvat.fi/kuvat/Sillat/>

Wikipedia, Poukkasilta.

https://fi.wikipedia.org/wiki/Katettu_silta#/media/File:Poukkasilta.jpg

Woodarchitecture, Tervassilta.

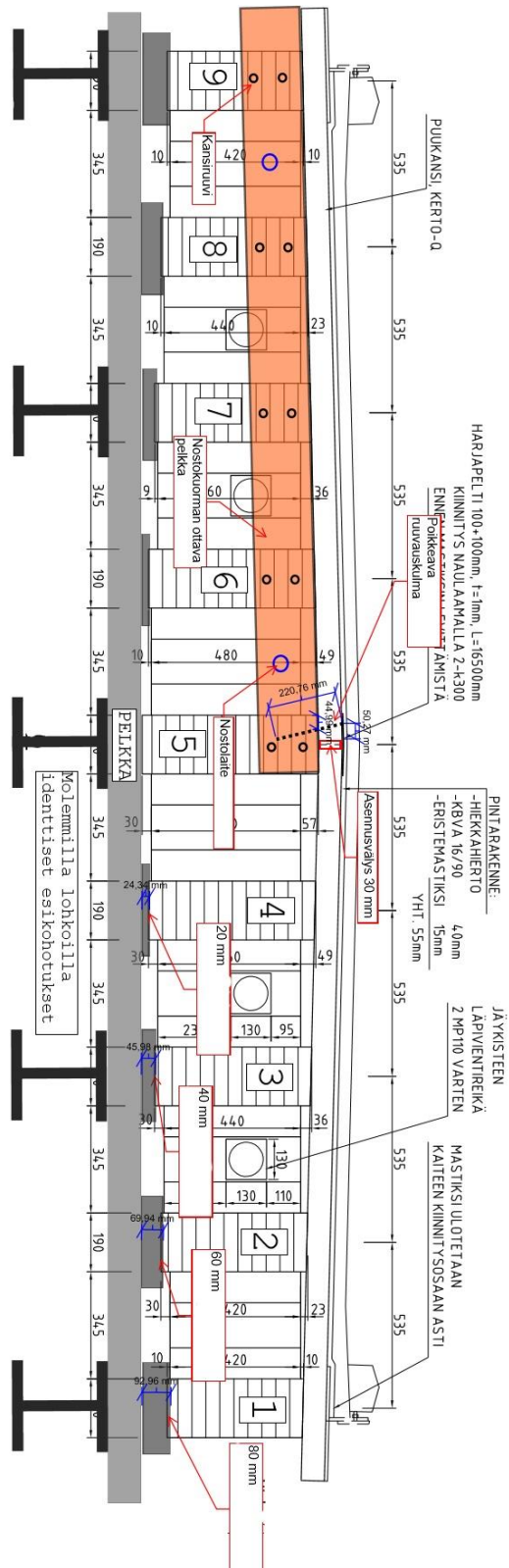
<https://www.woodarchitecture.fi/fi/projects/tervassilta>

Technical drawing of a bridge structure, showing a plan view (A-A) and a cross-section (B-B).

Plan View (A-A):

- Overall length: 16,000m
- Span lengths: 1,000m (left), 16,000m (center), 1,000m (right)
- Bridge deck width: 4,000m
- Bridge height: 1,50m
- Labels: K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11, K12, K13, K14, K15, K16, K17, K18, K19, K20, K21, K22, K23, K24, K25, K26, K27, K28, K29, K30, K31, K32, K33, K34, K35, K36, K37, K38, K39, K40, K41, K42, K43, K44, K45, K46, K47, K48, K49, K50, K51, K52, K53, K54, K55, K56, K57, K58, K59, K60, K61, K62, K63, K64, K65, K66, K67, K68, K69, K70, K71, K72, K73, K74, K75, K76, K77, K78, K79, K80, K81, K82, K83, K84, K85, K86, K87, K88, K89, K90, K91, K92, K93, K94, K95, K96, K97, K98, K99, K100, K101, K102, K103, K104, K105, K106, K107, K108, K109, K110, K111, K112, K113, K114, K115, K116, K117, K118, K119, K120, K121, K122, K123, K124, K125, K126, K127, K128, K129, K130, K131, K132, K133, K134, K135, K136, K137, K138, K139, K140, K141, K142, K143, K144, K145, K146, K147, K148, K149, K150, K151, K152, K153, K154, K155, K156, K157, K158, K159, K160, K161, K162, K163, K164, K165, K166, K167, K168, K169, K170, K171, K172, K173, K174, K175, K176, K177, K178, K179, K180, K181, K182, K183, K184, K185, K186, K187, K188, K189, K190, K191, K192, K193, K194, K195, K196, K197, K198, K199, K200, K201, K202, K203, K204, K205, K206, K207, K208, K209, K210, K211, K212, K213, K214, K215, K216, K217, K218, K219, K220, K221, K222, K223, K224, K225, K226, K227, K228, K229, K230, K231, K232, K233, K234, K235, K236, K237, K238, K239, K240, K241, K242, K243, K244, K245, K246, K247, K248, K249, K250, K251, K252, K253, K254, K255, K256, K257, K258, K259, K260, K261, K262, K263, K264, K265, K266, K267, K268, K269, K270, K271, K272, K273, K274, K275, K276, K277, K278, K279, K280, K281, K282, K283, K284, K285, K286, K287, K288, K289, K290, K291, K292, K293, K294, K295, K296, K297, K298, K299, K300, K301, K302, K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309, K310, K311, K312, K313, K314, K315, K316, K317, K318, K319, K320, K321, K322, K323, K324, K325, K326, K327, K328, K329, K330, K331, K332, K333, K334, K335, K336, K337, K338, K339, K340, K341, K342, K343, K344, K345, K346, K347, K348, K349, K350, K351, K352, K353, K354, K355, K356, K357, K358, K359, K360, K361, K362, K363, K364, K365, K366, K367, K368, K369, K370, K371, K372, K373, K374, K375, K376, K377, K378, K379, K380, K381, K382, K383, K384, K385, K386, K387, K388, K389, K390, K391, K392, K393, K394, K395, K396, K397, K398, K399, K400, K401, K402, K403, K404, K405, K406, K407, K408, K409, K410, K411, K412, K413, K414, K415, K416, K417, K418, K419, K420, K421, K422, K423, K424, K425, K426, K427, K428, K429, K430, K431, K432, K433, K434, K435, K436, K437, K438, K439, K440, K441, K442, K443, K444, K445, K446, K447, K448, K449, K450, K451, K452, K453, K454, K455, K456, K457, K458, K459, K460, K461, K462, K463, K464, K465, K466, K467, K468, K469, K470, K471, K472, K473, K474, K475, K476, K477, K478, K479, K480, K481, K482, K483, K484, K485, K486, K487, K488, K489, K490, K491, K492, K493, K494, K495, K496, K497, K498, K499, K500, K501, K502, K503, K504, K505, K506, K507, K508, K509, K510, K511, K512, K513, K514, K515, K516, K517, K518, K519, K520, K521, K522, K523, K524, K525, K526, K527, K528, K529, K530, K531, K532, K533, K534, K535, K536, K537, K538, K539, K540, K541, K542, K543, K544, K545, K546, K547, K548, K549, K550, K551, K552, K553, K554, K555, K556, K557, K558, K559, K560, K561, K562, K563, K564, K565, K566, K567, K568, K569, K570, K571, K572, K573, K574, K575, K576, K577, K578, K579, K580, K581, K582, K583, K584, K585, K586, K587, K588, K589, K590, K591, K592, K593, K594, K595, K596, K597, K598, K599, K600, K601, K602, K603, K604, K605, K606, K607, K608, K609, K610, K611, K612, K613, K614, K615, K616, K617, K618, K619, K620, K621, K622, K623, K624, K625, K626, K627, K628, K629, K630, K631, K632, K633, K634, K635, K636, K637, K638, K639, K640, K641, K642, K643, K644, K645, K646, K647, K648, K649, K650, K651, K652, K653, K654, K655, K656, K657, K658, K659, K660, K661, K662, K663, K664, K665, K666, K667, K668, K669, K670, K671, K672, K673, K674, K675, K676, K677, K678, K679, K680, K681, K682, K683, K684, K685, K686, K687, K688, K689, K690, K691, K692, K693, K694, K695, K696, K697, K698, K699, K700, K701, K702, K703, K704, K705, K706, K707, K708, K709, K710, K711, K712, K713, K714, K715, K716, K717, K718, K719, K720, K721, K722, K723, K724, K725, K726, K727, K728, K729, K730, K731, K732, K733, K734, K735, K736, K737, K738, K739, K740, K741, K742, K743, K744, K745, K746, K747, K748, K749, K750, K751, K752, K753, K754, K755, K756, K757, K758, K759, K760, K761, K762, K763, K764, K765, K766, K767, K768, K769, K770, K771, K772, K773, K774, K775, K776, K777, K778, K779, K780, K781, K782, K783, K784, K785, K786, K787, K788, K789, K7

Liite 2 Suunnitelma liimapuupalkkien korotuksista



Liite 3. Yksiaukkoisen liimapuupalkkisillan kasausohje (silta kuljetetaan lopulliselle paikalle myöhemmin)

1. Kasaustason rakentaminen

- Alustan tasoitus + tärytys
- Tarkistetaan passilla, että kasausalusta on vaakasuorassa
- Korotuslevyjen laitto suunnitelman mukaan tasolaseria apuna käyttäen
- Liimapuupalkkien tukilinjan merkitseminen korotuslevyihin + tarkistus vielä takymetrillä tarvittaessa

2. Liimapuupalkkien asennus

- 100x100 pystypuiden valmistelu kiinnitystä varten (ruuvien kiinnitys valmiiksi) sekä jäykistelevyjen kasaus
- Nostetaan palkki kerrallaan pois auton kyymistä nostosuunnitelman mukaisesti
- Merkitään tukilinja palkin molempiin päihin
- Lasketaan palkki niin, että liimapuupalkin tukilinja ja korotuslevyn tukilinja kohtaavat
- Tuenta kulmarautoilla
- 100x100 pystypuiden kiinnitys ennen viereisen palkin laskua sekä kaapelitukien vaakapuun kiinnitys → onnistuu myös jälkikäteen, mutta tila silloin erittäin vähissä
- Tarkistetaan palkkien sijainti ja yläpinnan korko esim. laudan avulla → tarvittaessa nostetaan/lasketaan palkkia
- Tuetaan tarvittaessa lisää
- Jäykistelevyjen, suojaputkien ja kaapelitukien asennus (keskimmäistä palkkia ei kiinnitetä molempien puolien jäykistelevyihin)
- (Viisteiden teko, jos eivät ole valmiina)

3. Kansilevyn asentaminen

- Merkataan keskipalkkiin asennuslinjat suunnitelman mukaan (rakoa jää noin 15 mm)
- Porataan nostoreiät suunnitelman mukaisiin paikkoihin
- Nostetaan levy paikoilleen ja varmistetaan, että levy on asettunut kunnolla
- Kiinnitetään muutamasta kohtaa täkkipulteilla/ruuveilla

- Nostetaan toinen kansilevy paikoilleen ja tarkistetaan, että levy on asettunut kunnolla
 - Kiinnitetään levy muutamasta kohtaa
 - Tarkistetaan, miten levy on palkkien päällä → tarvittaessa laitetaan painoa päälle, jotta saadaan levy painumaan palkkia vasten
 - Porataan esireiät suunnitelman mukaisesti kansilevyyn ja ruuvataan ruuvit kanteen (keskimmäiseen palkkiin kiinnitetään vain toinen kansilevyistä)
 - Sahataan kaidevaraukset
- HUOM! Jos palkkien sijainnissa heittoa niin pitää muistaa huomioida se maatuikiin tulevilla pulteilla, sillä kulmarauhoissa pienet toleranssit

4. Sillan nosto paikoilleen

- Varmistetaan sillan kuljetus reitti → tarvittaessa liikenteen pysäytystä, pysäköintikieltomerkkejä tien varteen
- Rakennetaan oikeankokoiset korotuspalkit kuljetusautoja varten, jotta saadaan palkit lastattua tasaisesti (kiinnitetään/varmistetaan vielä niiden paikoillaan pysyvyys ennen nostoa)
- Laitetaan kumilevyllaakerit paikoilleen ja merkitään sillan paikka valmiiksi
- Kiinnitetään nostolenkit nostosuunnitelman mukaisesti

Vaihtoehto 1

- Nostetaan ensiksi se sillan puolikas kuljetusauton kyytiin mikä ei ole kiinni keskipalkissa → auto siirtyy odottamaan omaa vuoroaan
- Nostetaan toinen puolikas auton kyytiin missä on keskipalkki mukana
- Siirretään silta lopulliselle paikalleen missä toinen nostoauto odottaa jo valmiina
- Lasketaan sillan puolikas paikoilleen ja varmistetaan, että kaikki kumilevyllaakerit pysyvät paikoillaan
- Tuodaan toinen puolikas ja nostetaan se paikoilleen

Vaihtoehto 2

- Siirretään sitä sillan puolikasta noin 10 cm sivuun, mikä ei ole kiinni keskipalkissa
- Näin saadaan nostettua se sillan puolikas ensiksi, mikä on kiinni keskipalkissa

- Nostetaan se auton kyytiin → yksi porukka rupeaa valmistelevaan toista puolikasta jo nostoa varten
- Siirretään sillan ensimmäinen puolikas lopulliselle nostopaikalle
- Nostetaan silta pois auton kyydistä ja asennetaan se paikoilleen → Auto lähtee heti hakemaan toista ja puolikasta
- Toisen puolikas on jo valmiina nostoa varten ja näin saadaan nostettua se auton kyytiin heti
- Siirretään toinen puolikas lopulliselle nostopaikalleen ja asennetaan se paikoilleen

5. Viimeistelytyöt

- Asennetaan kulmaraudat ja kiilapalat niiden väliin
- Kiilapalojen asennus palkkien päihin
- Jäykistelevyjen kiinnitys keskelle
- Toisen kannen puoliskon kiinnitys keskipalkkiin
- Päätylautojen kiinnitys

➔ Kaiteiden ja pintakerrosten tekeminen suunnitelman mukaan

Liite 4. Yksiaukkoisen liimapuupalkkisillan kasausohje paikoilleen

Tässä ohjeessa oletetaan, että maatuen pultit ovat oikeilla paikoillaan ja sillan ympärillä/alla pystytään työskentelemään turvallisesti.

1. Liimapuupalkkien asennus

- Kulmarautojen kiinnitys maatukeen ja kiilapalojen paikoilleen laitto
- Tarvittaessa voi merkitä myös palkkien paikat laakeritasolle
- 100x100 pystypuiden valmistelu sekä jäykistelevyjen kasaus
- Nostetaan palkki kerrallaan pois auton kyydistä nostosuunnitelman mukaisesti
- Lasketaan reunimmainen palkki paikoilleen kulmarautoja + kiilapalaa vasten ja kiinnitetään se suunnitelman mukaisella pulttiliitoksella kulmarautaan
- Kiinnitetään pystypuut ja mahdolliset kaapelitukien vaakapuut
- Nostetaan loput palkit järjestyksessä ja kiinnitetään ne kulmarautoihin+ kiinnitetään pystypuut, mahdolliset kaapelitukien vaakapuut
- Jäykistelevyjen, suojaputkien ja kaapelitukien asennus
- (Viisteiden teko, jos eivät ole valmiina)

2. Kansilevyn asennus

- Merkataan keskipalkkiin asennuslinjat suunnitelman mukaan (rakoa jää noin 15-30 mm)
- Porataan nostoreiät suunnitelman mukaisiin paikkoihin
- Nostetaan levy paikoilleen ja varmistetaan, että levy on asettunut kunnolla
- Kiinnitetään muutamasta kohtaa täkkipulteilla/ruuveilla
- Nostetaan toinen kansilevy ja tarkistetaan, että levy on asettunut kunnolla
- Kiinnitetään levy muutamasta kohtaa
- Tarkistetaan, miten levy on palkkien päällä → tarvittaessa laitetaan painoa päälle, jotta saadaan levy painumaan palkkia vasten
- Porataan esireiät suunnitelman mukaisesti kansilevyyn ja ruuvataan ruuvit

3. Viimeistelytyöt

- Kiilapalojen asennus palkkien päihin
- Kaidevarausten sahaus
- Päätylautojen kiinnitys

→Kaiteiden ja pintakerrosten tekeminen suunnitelman mukaan